

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Antonio Margarin

Zagreb, 2017. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Predrag Čosić, dipl. ing.

Student:

Antonio Margarin

Zagreb, 2017. godina.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći tijekom studija stečena znanja i vještine te služeći se navedenom literaturom.

Antonio Margarin

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Predragu Ćosiću na ukazanom povjerenju, na svom izdvojenom vremenu te na vrlo velikoj fleksibilnosti u dogovaranju termina konzultacija. Isto tako, zahvaljujem se na svoj ustupljenoj literaturi te na svim konstruktivnim i stručnim savjetima koji su mi udijeljeni za vrijeme pisanja završnog rada.

Veliku zahvalu upućujem svojim roditeljima, bratu, djevojci i prijateljima koji su mi, kroz čitav dosadašnji studij, bili velika podrška.

Jednako tako, veliko hvala upućujem tvrtki KONČAR MES, a posebice gospodinu Šimunu Ercegovcu te gospodinu Vjekoslavu Krleži. Zahvaljujem se na ustupljenim materijalima i informacijama te na izrazitoj ljubaznosti i susretljivosti kroz čitav period naše suradnje.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 22.02.2017. Prilog
Klasa: 602-04/17 - 6/4
Ur.broj: 15-1703-17-41

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Antonio Margarin**

Mat. br.:
0035193043

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Simulacija tehnološkog procesa grupe proizvoda uz definirane različite scenarije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulation of technological process for group of products with defined different screenplays**

Opis zadatka:

U radu opisati osnovne značajke tehnološkog procesa: redoslijed operacija, radna mjesta, vremena, troškovi, kapacitet, rok isporuke. Temeljem podataka iz više različitih tvrtki, odabrati tip proizvodnje i asortiman proizvoda koji će biti predmet razmatranja. Definirati alternativne varijante izrade proizvoda. Za odabrane proizvode iz realne proizvodnje, pokazati način rješavanja problema uskih grla, kvara stroja, rokova isporuke, lošeg materijala priprema, kvalitete obradka dobijenih od kooperanata. Usporediti dobijena rješenja sa procjenom stručnjaka iz realne proizvodnje. Predložiti eventualna poboljšanja razmatranog proizvodnog procesa.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok predaje rada:

- 1. rok: 24. veljače 2017.
- 2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
- 3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

- 1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
- 2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
- 3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Predrag Čosić

v.d. predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS KRATICA	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD.....	1
2. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT	3
2.1. Pojam PLM	3
2.1.1. Faze PLM-a.....	5
2.2. Povijesni razvoj PLM-a	6
2.3. Važnost i prednosti uvođenja PLM-a.....	8
2.4. Implementacija PLM-a	9
2.4.1. Metodologije implementacije	10
2.4.2. Troškovi implementacije	11
3. RAČUNALNE APLIKACIJE ZA PLM	13
3.1. Softveri za PLM.....	14
3.1.1. Dassault Systemes : ENOVIA MatrixOne.....	14
3.1.2. Proplanner	16
3.1.3. PTC : Windchill	17
3.2. Siemens PLM.....	18
3.2.1. Tecnomatix	20
3.2.1.1. Plant Simulation.....	21
3.2.1.2. Osnove rada u Plant Simulation 12.2.....	22
4. KONČAR MES KAO SASTAVNI DIO KONČAR ELEKTROINDUSTRIJE.....	25
4.1. KONČAR - Elektroindustrija d.d.....	25
4.2. KONČAR MES d.d.....	27
4.2.1. Proizvodni program tvrtke	29
4.2.2. Tehnološki proces izrade i primjena ventilatora VAAZ C1000WF	31
4.2.2.1. Tehnološki proces izrade kućišta	33
4.2.2.2. Tehnološki proces ličenja seta dijelova s kućištem	33
4.2.2.3. Tehnološki proces izrade razrezne pločice 132	34
4.2.2.4. Tehnološki proces izrade dijelova za impeler i montaže imepelera	35
4.2.2.5. Tehnološki proces montaže i isporuke gotovog ventilatora	37
4.2.3. Radna mjesta unutar KONČAR MES-a korištena za izradu ventilatora	38
4.2.4. Montažno radno mjesto.....	41
5. IZRADA SIMULACIJE POSTOJEĆE PROIZVODNJE	43
5.1. Što je to simulacija?	43

5.2. Simulacija postojeće proizvodnje ventilatora VAAZ C1000WF	44
5.2.1. Postavljanje ulaznih parametara simulacijskog modela.....	44
5.2.2. Proizvodnja kućišta i slanje na uslugu vrućeg cinčanja.....	50
5.2.3. Proizvodnja dijelova za impeler, skupljanje dijelova u kutiju i pranje.....	55
5.2.4. Proizvodnja razrezne pločice i priprema za montažu	58
5.2.5. Lakiranje svih dijelova za ventilator	59
5.2.5.1. Pjeskarenje kućišta i impelera.....	61
5.2.6. Montaža ventilatora, elektroispitivanje ventilatora, dorada te isporuka kupcu ..	62
5.2.7. Analiza rezultata dobivenih iz simulacije postojećeg stanja proizvodnje.....	63
6. SIMULACIJA RAZNIH SCENARIJA	67
6.1. Scenarij 1 – Naglo povećanje naručene količine	67
6.2. Scenarij 2 – Zatvaranje cinčaone s kojom tvrtka trenutno surađuje	72
7. ZAKLJUČAK.....	77
LITERATURA.....	78

POPIS SLIKA

Slika 1. PLM koncept.....	4
Slika 2. Shema korištenja PLM-a.....	4
Slika 3. Faze PLM-a.....	5
Slika 4. Razvoj PLM-a kroz povijest	7
Slika 5. Faze metodologije "vodopada".....	10
Slika 6. Udio na tržištu pojedinih dobavljača PLM softvera	14
Slika 7. Proizvodi tvrtke Dassault Systemes	15
Slika 8. Proplaner	17
Slika 9. Grafičko sučelje Plant Simulationa.....	23
Slika 10. Struktura KONČAR-Elektroindustrije d.d.....	26
Slika 11. Zemlje u koje se izvoze proizvodi tvrtke KONČAR MES	27
Slika 12. Organizacijska struktura tvrtke KONČAR MES	28
Slika 13. Jednofazni motor tvrtke KONČAR MES	29
Slika 14. Stanje ventilatora prije i nakon servisa	30
Slika 15. Tehnički crtež ventilatora tipa VAAZ C1000WF.....	31
Slika 16. Količinska sastavnica montaže jednog ventilatora VAAZ C1000WF.....	32
Slika 17. Stroj za savijanje kućišta.....	38
Slika 18. Stroj za zavarivanje kućišta.....	38
Slika 19. Stroj za formiranje i probijanje ispušne i usisne prirubnice.....	39
Slika 20. Stroj za pjeskarenje kućišta i impelera.....	39
Slika 21. Lakirnica	40
Slika 22. Montirani ventilator VAAZ C1000.....	40
Slika 23. Slaganje i pakiranje ventilatora za isporuku	41
Slika 24. Ručna montaža ventilatora VAAZ C1000 WF	42
Slika 25. Primjer unošenja komadnog vremena u Tecnomatix ako se dvije operacije odvijaju jedna za drugom na istom radnom mjestu	45
Slika 26. Postavljanje dostupnosti i MTTR-a za strojeve	45
Slika 27. Ukupna izlazna količina na kraju simulacije postojeće proizvodnje	47
Slika 28. Izgled procesa unutar Tecnomatixa	48
Slika 29. Namještanje postavki event controllera	49
Slika 30. Namještanje radnog vremena.....	49
Slika 31. Prvi dio proizvodnje kućišta ventilatora VAAZ C1000WF.....	50
Slika 32. Postavke ulaznih sirovaca za izradu kućišta	51
Slika 33. Vraćanje komada na jednu od prethodnih operacija	51
Slika 34. Promjena imena kućišta	52
Slika 35. Postavljanje tablice s komadnim vremenima u rubriku processing time.....	52
Slika 36. Postavljanje exit strategy u Flow control funkciji	53
Slika 37. Metoda razvrstavanje kućišta.....	53
Slika 38. Pakiranje i slanje kućišta na uslugu vrućeg cinčanja	54
Slika 39. Trajanje usluge vrućeg cinčanja.....	54
Slika 40. Spremanje pocinčanih kućišta u skladište.....	55
Slika 41. Metoda za punjenje skladišta	55
Slika 42. Prvi dio proizvodnje impelera.....	56

Slika 43. Postavljanje metode Zamjena_strojeva.....	57
Slika 44. Kod metode Zamjena_strojeva	57
Slika 45. Puštanje određenih komada na iduću operaciju preko FlowControla.....	58
Slika 46. Proces izrade razrezne pločice	58
Slika 47. Prikaz procesa lakiranja i sušenja komada.....	59
Slika 48. Vremena lakiranja	60
Slika 49. Metoda „Razvrstavanje_dijelova“	61
Slika 50. Prikaz operacije pjeskarenja u simulaciji.....	61
Slika 51. Vremena pjeskarenja.....	61
Slika 52. Završna faza proizvodnje ventilatora	62
Slika 53. Postavke operacije „Montaže_ventilatora“	62
Slika 54. Trenutna godišnja količina proizvedenih ventilatora.....	63
Slika 55. Sankeyev dijagram trenutnog stanja	64
Slika 56. Odnos broja priteznih vijenaca izrađenih na različitim tokarilicama izražen u postocima.....	65
Slika 57. Grafički prikaz zauzetosti tokarilica PUMA280 i TU480 na godišnjoj razini	65
Slika 58. Grafički prikaz zauzetosti strojeva koji su označeni kao potencijalna uska grla postojeće proizvodnje.....	66
Slika 59. „Scenarij1“-vrijeme isporuke 24 ventilatora prema postojećoj proizvodnji.....	67
Slika 60. „Scenarij1“ Broj izlaznih komada nakon povećanja ulaznih parametara u postojećoj proizvodnji.....	68
Slika 61. „Scenarij1“ Zauzetost strojeva za izradu kućišta.....	68
Slika 62. „Scenarij1“ Stanje na kraju probne simulacije	69
Slika 63. „Scenarij1“ Zauzetost lakirnice u postojećem stanju proizvodnje	69
Slika 64. „Scenarij1“ modificirana linija za izradu kućišta	70
Slika 65. „Scenarij1“ Zauzetost strojeva na modificiranoj liniji za izradu kućišta.....	70
Slika 66. „Scenarij1“ Zauzetost lakirnice sa povećanim kapacitetom.....	71
Slika 67. „Scenarij1“ Isporučena količina uz poboljšani način proizvodnje	71
Slika 68. „Scenarij2“ Kod metode „Slanje_na_cinčanje“	72
Slika 69. „Scenarij2“ Izlazni broj komada prilikom puštanja simulacije postojeće proizvodnje	73
Slika 70. „Scenarij2“ Zauzetost lakirnice i pjeskarilice nemodificiranog proizvodnog procesa	73
Slika 71. „Scenarij2“ Izlazni broj komada nakon uvođenja drugog radnog mjesta u lakirnici	74
Slika 72. „Scenarij2“ Zauzetost strojeva i stanje procesa nakon uvođenja paralelnog lakiranja	74
Slika 73. „Scenarij2“ Zauzetost strojeva nakon uvođenja dodatne radne smjene	75
Slika 74. „Scenarij2“ Isporučena količina nakon uvođenja dodatne radne smjene	76

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tri kategorije životnog vijeka proizvoda	6
Tablica 2. Okvirni troškovi implementacije PLM-a izraženi u postotcima	11
Tablica 3. Tehnološki proces izrade kućišta	33
Tablica 4. Tehnološki proces ličenja seta dijelova s kućištem	34
Tablica 5. Tehnološki proces izrade razrezne pločice.....	34
Tablica 6. Tehnološki proces izrade priteznog vijenca na CNC PUMA280	35
Tablica 7. Tehnološki proces izrade priteznog vijenca na CNC TU480.....	35
Tablica 8. Tehnološki proces montaže i lakiranja impelera.....	36
Tablica 9. Tablica tehnološkog procesa montaže i isporuke ventilatora.....	37
Tablica 10. Vremena trajanja pojedinih operacija	45
Tablica 11. Prikaz ulaznih količina u simulaciji postojeće proizvodnje	47

POPIS KRATICA

Oznaka	Puni naziv	Značenje
CAD	Computer-Aided Design	Program koji koristi kompjutersku grafiku za razvoj, analizu i izmjene tijekom postupka oblikovanja proizvoda
CAM	Computer Aided Manufacturing	Računalom podržana priprema za proizvodnju koja obuhvaća prevođenje projektnih informacija u tehnološke informacije i proizvodnju s različitim razinama automatizacije.
CPC	Collaborative Product Commerce)	Tehnologija kojom se integriraju sve faze životnog ciklusa proizvoda, počevši od najranije faze razvoja, preko pradenja proizvodnje, do ponašanja u stvarnim eksplotacijskim uvjetima.
CRM	Customer relationship management)	Sustav za upravljanje komunikacijom i razmjenom informacija s kupcima.
ERP	Enterprise Resource Planning	Softverski paket poslovnih aplikacija kojem je cilj integrirati sve poslovne procese i odjele u kompaniji u jedinstveni, transparentni poslovni kompjutorski sustav sa jedinstvenom bazom podataka.
MTTR	Mean Time To Repair	Srednje vrijeme otklanjanja kvara.
MRP	Material Resource Planning	Sustav za planiranje materijalnih resursa.
PDM	Product Data Management	Sustav za upravljanje podacima o proizvodu - Alat koji pomaže inženjerima i drugima uključenim u razvoj proizvoda, u upravljanju podacima o proizvodu te upravljanju razvojnim procesom proizvoda. PDM sustavi nastoje pratiti gomile podataka i informacija potrebnih za dizajn, proizvodnju ili izgradnju, potom i podržati i održavati proizvod.
PLM	Product Lifecycle Management	Upravljanje životnim ciklusom proizvoda- sveobuhvatan pristup u razvoju novih proizvoda i upravljanju informacijama o proizvodu od početne ideje do njegovog zbrinjavanja.
SCM	Supply Chain Management	Sustav za upravljanje lancem nabave.

SAŽETAK

Kroz ovaj rad, primjenom softvera¹ Tecnomatix Plant Simulation 12.2 , prikazana je i analizirana proizvodnja ventilatora VAAZ C1000WF tvrtke KONČAR MES. Istaknute su i navedene najbitnije činjenice o poduzeću KONČAR MES te o samom proizvodu za koji je simulacija i napravljena.

Na temelju realnih komadnih vremena prikazano je trenutno stanje proizvodnje ventilatora, a detaljnom analizom trenutnog procesa uočeni su problemi uskih grla proizvodnje. Također, dani su primjeri dva realna scenarija za koje su rađene simulacije. Za oba scenarija napravljena je detaljna analiza te su dani prijedlozi poboljšanja koji omogućavaju da se zadovolje uvjeti zadani tekstom scenarija.

Nadalje, kroz ovaj završni rad objašnjen je pojam PLM-a (Product Lifecycle Management-a) te je opisan njegov povijesni razvoj, opisana je važnost samog PLM-a te su navedeni benefiti PLM-a i troškovi koje implementacija istog nosi.

Jednako tako, dane su neke osnovne informacije o PLM softverima koji su trenutno najzastupljeniji na tržištu. Posebna pažnja posvećena je Plant Simulation-u, za kojeg su dane kratke osnove rada.

Ključne riječi: PLM , Plant Simulation, ventilator VAAZ C1000WF , simulacija, upravljanje životnim vijekom proizvoda

¹ softver- eng. software; neopipljivi dio računala u kojeg se ubrajaju programi i podaci koji se nalaze na računalu

SUMMARY

Through this undergraduate thesis, using software Tecnomatix Plant Simulation 12.2, the production of axial fan VAAZ C1000 WF, designed by KONČAR MES d.o.o, is presented and analyzed. This thesis says something about company KONČAR MES d.o.o. and something about product which was the main subject of simulation.

Simulation of existing way of production is based on real one-piece processing time. After start of simulation the analysis of production was carried out and the bottlenecks were spotted. This thesis contains examples of two real scenarios and simulations for that scenarios are also made. For both scenarios the detailed analysis is made and improvements for that process are shown.

Further, in this thesis the term of PLM is explained, the historical development and importance of PLM are described. The benefits and cost of PLM implementation are also listed.

Thesis says something about PLM softwares which are most common on market. Special attention is dedicated to Plant Simulation for which are given the basics of working.

Key words: PLM, Plant Simulation, axial fan VAAZ C1000 WF, simulation, Product Lifecycle Management

1. UVOD

U današnjem svijetu kada je cijela Zemlja jedno veliko tržište, kada je konkurencija sve veća, jača i okrutnija, kada su zahtjevi kupaca sve raznovrsniji i uz sve to vlada globalna filozofija „*kupac je uvijek u pravu*“ sve je teže i kompliciranije biti proizvođač.

Vrijeme u kojem je kupcu dana potpuna vlast, u kojemu se riječi jednog od najvećih izumitelja u povijesti Henry-a Forda čine kao potpuna besmislica nije vrijeme koje se može smatrati zahvalim za proizvođače. Poznata Henry-eva izjava glasila je: „Mušterije mogu tražiti bilo koju boju auta, dokle god je ta boja crna“. Paralelno s razvojem industrije Henry-eva izjava postajala sve neprihvatljivija i besmislenija. Toga su vlasnici tvrtki postajali svjesni te su morali započeti potragu za novim idejama i riješenjima.

Danas kupac želi svoj proizvod dobiti u što kraćem roku, sa što je moguće boljim performansama uz što je moguće veću kvalitetu i sve to uz, naravno, što je moguće nižu cijenu. Kupcu ima pravo odabira, a izbor je velik. Danas je praktički jednako lako kupovati proizvode u susjedstvu ili kupovati proizvode sa drugog kraja svijeta. Stoga, da bi tvrtka opstala mora se „boriti se“ za svakog kupca. Pod pritiskom konkurencije, a s ciljem dobivanja što je moguće većeg udjela na tržištu te ostvarivanja maksimalanog profita, počele su se razvijati različite metode upravljanja i vođenja tvrtki. Jedan od koncepata upravljanja koji uvelike pospješuje proizvodnju i samu dobit je PLM koncept, odnosno Product Lifecycle Management. PLM koncept odnosi se na upravljanje cijelim životnim ciklusom proizvoda počevši od same ideje o proizvodu, preko realizacije, korištenja, održavanja te oporabe proizvoda.

Prije pojave PLM-a odjeli tvrtki djelovali su kao zasebni „igrači“, individualci koje nije zanimalo, ili ih je nedovoljno zanimalo, kako će drugi odjel riješavati probleme koji su proizašli iz njihovog odjela. Problemi manjka komunikacije često su dovodili do značajnih vremenskih i financijskih gubitaka za poduzeće.

PLM kao koncept nastavak je ideje integriranog inženjerstva i sposoban je povezivati sve informacije o proizvodima i proizvodnim procesima, a softverski alati koji se koriste prilikom implementacije PLM-a su ti koji skraćuju vremena koja ne donose vrijednost, oni su ti koji omogućuju tvrtki pronalazak potencijalnih opasnosti unutar proizvodnih procesa te omogućuju kvalitetno upravljanje cijelim životnim vijekom proizvoda.

PLM ideja je ona ideja koja omogućuje inovativnost, fleksibilnost i kvalitetu, te na taj način donosi konkuretsku prednost na tržištu.

2. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT

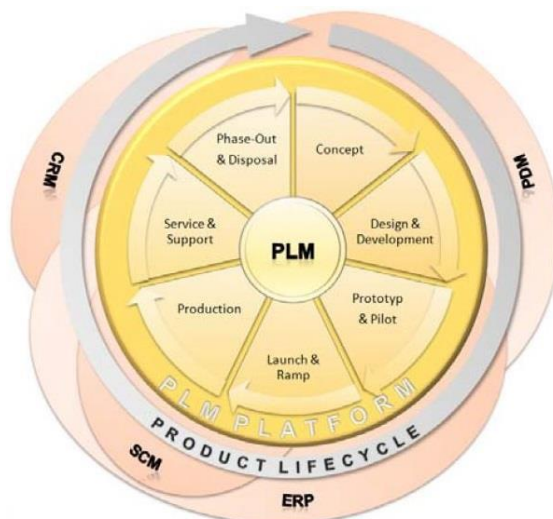
Kroz ovo poglavlje biti će objašnjen PLM koncept, prikazati će se osnovna ideja koncepta, te navesti i objasniti faze koncepta. Također, dati će se pregled povijesnog razvoja ideje PLM-a, te će biti navedene prednosti uvođenja PLM-a. Na kraju poglavlja biti će rečeno nešto o implemntaciji PLM-a te troškovima same implementacije.

2.1. Pojam PLM

Product Lifecycle Management (PLM ili upravljanje životnim vijekom proizvoda, je poslovna menadžerska aktivnost upravljanja koja ima za cilj, na najbolji mogući način, upravljati proizvodom kroz čitav njigov životni vijek, počevši od ideje preko korištenja proizvoda pa sve do kraja životnog vijeka proizvoda, odnosno zbrinjavanja [1]. Slika 1. grafički prikazuje PLM koncept.

PLM je holistička metoda koja, osim samog proizvoda, obuhvaća i organizacijske metode, metode rada, procese, ljude, informacijske strukture i sustave. Do početka 21. stoljeća PLM pristup, iz točke gledišta poslovanja, nije bio potreban, a sa tehničke strane nije bio moguć. Konkretnije se počinje spominjati 2001. godine. Prije pojave PLM-a tvrtke nisu imale konkretan koncept kontinuiranog upravljanja proizvodom nego su upravljale na način *odjel-po-odjel*. Svaki je odjel zasebno donosio odluke, ne vodeći brigu o problemima koji mogu zadesiti negi drugi odjela. Jedan uobičajeni primjer takvog problema događao se na relaciji konstrukcija-tehnologija. Dolazilo je do toga da bi konstruktor konstruirao proizvod, ne vodeći brigu o tehnologiji izrade što je vrlo često dovodilo do rekonstrukcije proizvoda jer početni proizvod nije bilo moguće izraditi [1]. Svaka takva pogreška je čisti financijski i vremenski gubitak i vrlo je nepoželjna. U današnje vrijeme u kojemu je tehnologija uznapredovala do nevjerojatne razine, kada je cijeli svijet postao jedno veliko tržište i kada je konkurencije sve više i sve je jača, svaka pogreška može biti pogubna za poduzeće. Stoga PLM pristup je onaj pristup koji daje rješenje za takve probleme.

PLM predstavlja skup aktivnosti kojima se tvrtkama omogućuju efikasna i efektivna inovativnsot, upravljanje čitavim nizom usluga koje su vezane za pojedine faze životnog ciklusa proizvoda. [2]



Slika 1. PLM koncept [3]

PLM, uz CRM (Customer Relationship Management), SCM (Supply Chain Management), ERP (Enterprise Resource Planning) i PDM (Product Data Management), čini jedan od temelja informacijske infrastrukture tvrtke. CRM omogućuje komunikaciju i razmjenu informacija sa kupcima, dok SCM omogućuje komunikaciju sa dobavljačima. ERP služi kao pomoć u planiranju i raspoređivanju resursa unutar tvrtke. Uz sve to, tvrtke i kompanije koje imaju uključenu proizvodnju, moraju razviti, opisati, definirati, upravljati i razmjenjivati informacije o svojim proizvodima [2]. Na taj način problemi tipični za pristup *odjel-po-odjel* trebaju se svesti na minimum ili biti skroz eliminirani. Na slici 2. dana je shema korištenja PLM-a.

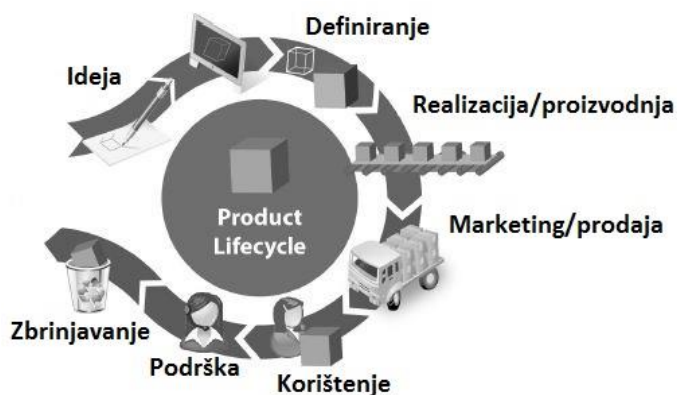


Slika 2. Shema korištenja PLM-a [4]

2.1.1. Faze PLM-a

Upravljanje životnim vijekom proizvoda može se podijeliti u šest faza : ideja o proizvodu, faza definiranja, faza realiziranja, marketinška faza, faza korištenje-podrška, faza zbrinjavanja [5]. Faze PLM-a prikazane su na slici 3.

- **Ideja** – stvaranje koncepta; pojavljuje se na početku projekta kada tvrtka prima informacije o proizvodu sa puno strana: od korisnika, marketinga, tvornice, tržišta itd. Stvaranje početne skice, ideje se pretvaraju u skice, crteže i dijagrame preko kojih se objašnjava sama važnost proizvoda.
- **Faza definiranja** – pisanje projekta; faza u kojoj se skice pretvaraju u tehničke crteže, modeliranje je gotovo i proizvod je definiran (materijal, dimenzije i tolerancije).
- **Faza realizacije** – proizvodnja; proizvodnja je isplanirana, serije kreću u proizvodnju, a veličine serija ograničene su kapacitetima tvrtke. Uspostavljeni su odnosi sa dobavljačima. Dizajnirane su i napravljene kutije za pakiranje proizvoda. Faza završava završnom montažom i skladištenjem.
- **Marketinška faza** – distribucija i prodaja; marketinškom strategijom definirano je svi transportni sustavi i distribucijska logistika kako bi se osiguralo da proizvod dođe kupcu u najboljim mogućim uvjetima.
- **Faza korištenja i podrške** – korištenje i održavanje; sa gledišta korisnika ova faza počinje s uporabom proizvoda i traje sve do kraja životnog vijeka proizvoda. Iz pogleda proizvođača ova faza je početak podrške kupcu i početak održavanje proizvoda.
- **Faza zbrinjavanja** – ova faza označava kraj životnog vijeka proizvoda i otvara mogućnost tri različita scenarija: recikliranje, uništenje ili ponovna upotreba. Ovo je faza u kojoj se može odrediti utjecaj proizvoda, kroz cijeli životni vijek, na okoliš, a ujedno se može ocijeniti i utjecaj koji je imao na ljudsko zdravlje.



Slika 3. Faze PLM-a[5]

Dodatno, šest faza PLM definiraju tri kategorije životnog vijeka. Kategorije i pripadajuće im faze PLM-a prikazane su u Tablici 1 [1].

Tablica 1. Tri kategorije životnog vijeka proizvoda [1]

Početak životnog vijeka	Sredina životnog vijeka	Kraj životnog vijeka
Ideja/Definicija/Realizacija	Podrška/korištenje/održavanje	Povlačenje/Zbrinjavanje

2.2. Povijesni razvoj PLM-a

PLM nastao je iz dva korijena. Prvi korijen je menadžment poduzeća (Enterprise Management) koji se može podijeliti u planiranje materijalnih resursa (*MPR*-material resource management), planiranje resursa poduzeća (*ERP*-enterprise resource planning), menadžment odnosa s kupcima (*CRM*- customer relationship management) i upravljanje lancem opskrbe (*SCM*- supply chain management). Kroz korištenje ovih metoda moguće je pratiti cijeli životni vijek proizvoda, a samim time moguće je i procijenjivati rizike koji dolaze kroz životni vijek. U tom kontekstu, PLM služi kao alat podrška odlučivanju.

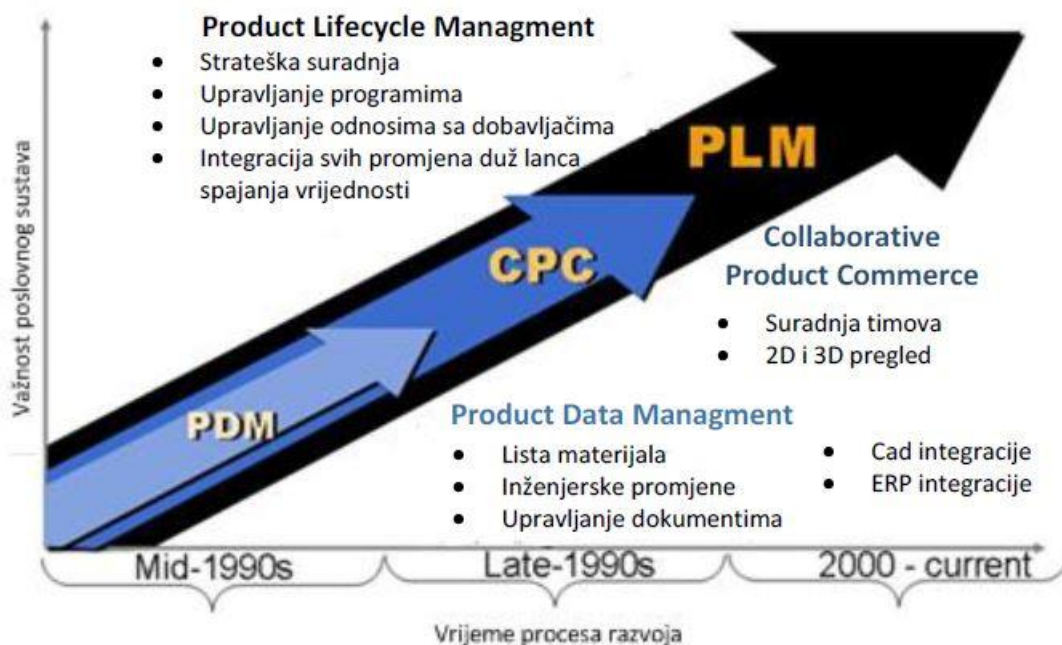
Drugi korijen je upravljanje informacijama o proizvodu kroz njegov čitav životni ciklus [6]. Prikupljanje i posjedovanje podataka omogućava integraciju istih unutar sustava te na taj način olakšava ozmeđu „virtualnih poduzeća“. Computer-Aided Design and Manufacturing (*CAD/CAM*) glavni su alati takvog pristupa. CAD sustavi razvijeni su ranih 80-ih godina 20-og stoljeća s ciljem kreiranja geometrijskih modela proizvoda na lakši način od crtanja na papiru. Takav digitalni zapis modela može biti lakši za manipulaciju i ponovo korištenje. S vremenom je primjena *CAD/CAM* alata naglo narasla. Kao rezultat toga, krajem 1980-ih, nastao je alat upravljanja podacima o proizvodu (*PDM*-product data management) [7].

PDM osiguravao je lagan, brz i siguran pristup podacima kreiranim za vrijeme projektiranja proizvoda. Prva generacija *PDM* sustava bila je učinkovita u domeni inženjeringa, ali nije davala rezultate kod neinženjerskih aktivnosti kao što su prodaja, marketing, upravljanje lancem opskrbe kao niti kod odnosa s kupcima i dobavljačima. Daljnje razvijanje *PDM*-a bilo je ograničeno iz dva razloga. Primaran razlog bio je ograničenost informacija koje su se mogle koristiti u prvim sustavima. Sustavi su bili ograničeni na informacije kao što su geometrijski modeli, informacije o materijalima te konačnom analizom modela, a drugi je razlog bio taj da su sustavi *PDM* zahtjevali inženjerska znanja.

Pojavom interneta PDM sustavi su postajali su više iskoristivi, ali svejedno su bili ograničeni samo na inženjerske informacije i dalje nisu bili otvoreni prema ostalim aspektima životnog vijeka proizvoda [7].

Kasnih 90-ih pojavio se je CPC (Collaborate Product Commerce) pristup čiji je cilj bio povezati organizacijske i inženjerske djelatnosti te tako osigurati siguran protok informacija kroz cijeli sustav tokom životnog vijeka proizvoda [8].

Iz CPC-a, kasnih 1990-tih i ranih 2000-tih godina, razvio se PLM. Pojavom PLM-a, osim inženjerskih informacija, u upravljanju životnim vijekom proizvoda počele su se koristiti i ne inženjerske informacije. Povezale su se informacije o projektiranju, proizvodnji, marketingu, prodaji i ostalim aktivnostima nakon prodaje proizvoda. U takvom pristupu ključnu ulogu su imali ranije navedeni alati, ERP, CRM i SCM [7] i u tome je najveća razlika između PDM-a i PLM-a. Podrazumijeva se da su informacije korištene unutar PLM sustava podržane PDM sustavima. U današnjem modernom svijetu, PLM pristup je onaj pristup koji donosi konkuretsku prednost na tržištu. Razvoj PLM-a kroz godine prikazan je na slici 4.



Slika 4. Razvoj PLM-a kroz povijest [8]

2.3. Važnost i prednosti uvođenja PLM-a

PLM pristup stavlja fokus na proizvod. Proizvod je onaj koji tvrtki donosi prihode, onaj koji definira tvrtku, bez proizvoda tvrtka ne bi bila ista. Rijetko koja tvrtka u svijetu je važnija od svojeg proizvoda jer bez proizvoda nema ni kupaca niti prihoda [1].

Važnost primjene PLM-a očituje se kroz nekoliko stvari [1]:

- PLM drži pod kontrolom proizvod kroz cijeli životni vijek, a time omogućuje menadžerima manje rizika i manje briga oko ulaganja te na taj način omogućuje više vremena iskoristivog za osmišljavanje i realizaciju drugih ideja i proizvoda,
- PLM poboljšava aktivnosti razvijanja proizvoda koje su neophodne za preživljavanje tvrtke,
- PLM omogućava tvrtki da smanji troškove koji se odnose na cijeli životni ciklus proizvoda,
- PLM omogućuje transparentnost aktivnosti kroz životni vijek proizvoda,
- PLM omogućuje bolju podršku kupcima/korisnicima proizvoda,
- PLM omogućuje da je vrijednost proizvoda maksimalna kroz cijeli njegov životni vijek,
- PLM omogućava tvrtki da na adekvatan način odgovori promjenama na tržištu, da maksimalno i što učinkovitije, sa što manjim troškovima, razvije proizvod koji je u skladu s potrebama ljudi i kojim što je manje moguće šteti okolišu.

Prednosti PLM-a najviše se očituju kroz vrijeme, troškove i kvalitetu. Žele se postići što kraća vremena, što manji troškovi, a što veća kvaliteta. Primjeri prednosti koje omogućuje PLM su [9]:

- Brže vrijeme dolaska proizvoda na tržište
- Poboljšanje vremena ciklusa
- Manje pogrešaka
- Bolja kvaliteta proizvoda
- Smanjenje troškova prilikom uvođenja novih proizvoda
- Bolji uvid u kritične procese

- Bolja komunikacija
- Smanjenje troškova proizvodnje i povećanje profitabilnosti
- Bolja iskorisćenost resursa
- Veća produktivnost
- Veća učinkovitost prilikom projektiranja
- Bolja izvješća o radu i analitika unutar tvrtke
- Lakše održavanje standarda i poštivanje propisa.

Prednosti PLM-a često su mjerljive i vidljive. Primjenom PLM-a želi se postići da prihodi od proizvoda narastu 30% ili više, a žele se smanjiti troškovi održavanja do čak 50% [1].

2.4. Implementacija PLM-a [10]

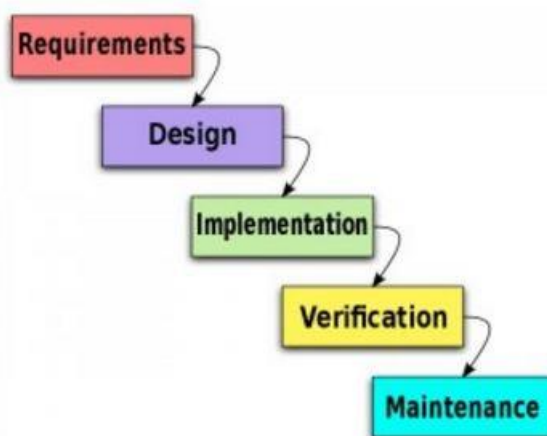
Da bi PLM mogao biti uspješno implementiran moraju biti uključeni slijedeći elementi:

- Projektni menadžment
- Menadžment promjena
- Projektno rješenje koje uključuje:
 - Poslovna rješenja i procese
 - Arhitekturu sustava
- Instaliran softver
- Konfiguracija i prilagodba sustava
- Integracija aplikacija (CAD, ERP i druge)
- Protok podataka koji uključuje:
 - Čišćenje podataka
 - Alate za protok podataka
 - Vađenje podataka iz baze podataka
 - Pripremi i izvođenje
 - Uvoz podataka u PLM sustave
- Testiranje i ocjenjivanje
- Obuka za korisnike i sistemske administratore

2.4.1. Metodologije implementacije [10]

Na visokim razinama implementacije postoje dva glavna tipa metodologije: metodologija "vodopada" i agilna metodologija.

Metodologija vodopada je sekvencijalni proces, često korišten u razvijanju i implementaciji softvera, u kojem je napredak teče polagano s više razine na nižu, baš kao kod vodopada. Originalna metoda vodopada uključuje faze definiranja zahtjeva, projektiranja, implementacije, verifikacije i održavanja, ali u današnje vrijeme koristi se mnogo različitih varijacija metodologije vodopada, ovisno o tipu projekta i području primjene. Ovakva metoda je relativno lagana za upravljanje, ali osigurava manje fleksibilnosti za promjene tokom projekta a zbog sekvencijalnog pristupa sama metoda zahtjeva više vremena da bi bila ispravno implemenrirana. Na slici 5. prikazane su faze metodologije vodopada.



Slika 5. Faze metodologije "vodopada"

Drugi pristup, agilna metodologija, je bazirana na iterativnom i inkrementalnom razvoju, gdje su zahtjevi i rješenja razvijeni kroz suradnju između poprečnih timova. Takav pristup promiče adaptivno planiranje, evolucijski razvoj, iterativni pristup unutar nekog vremenskog razdoblja, i potiče rapidni i fleksibilni odziv na promjene kroz razvojni i implementacijski ciklus. Agilna metoda, generalno, zahtjeva vrlo čvrstu kontrolu i vrlo čvrsto upravljanje potencijalima, točan raspored i troškove, a najbitnije od svega je imati iskusnog projektnog menadžera kako bi pristup bio uspješno proveden.

2.4.2. Troškovi implementacije

Troškovi implementacije su vrlo ovisni o veličini i potrebama tvrtke. Troškovi se kreću od 10 000\$ pa do milijunskih cifri, ovisno o broju korisnika za koje je PLM implementiran te o mogućnostima i kvalitetama koje implimentirani PLM posjeduje [10].

Okvirni troškovi implementacije, izraženi u postocima, dani su u Tablici 2 [10].

Tablica 2. Okvirni troškovi implementacije PLM-a izraženi u postocima

Element troška	Tip troška	% ¹⁾	Troškovi ovise o:
Softver¹	Kapitalna investicija – samo jednom	30%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju korisnika • Tipu korisnika : autori ili promatrači • Zahtjevanoj funkcionalnosti i modulima • Mogućnosti korištenja : stalna ili na zahtjev • Tipu licence • Cijeni i popustima
Održavanje softvera	Trošak koji se ponavlja na godišnjoj razini	6%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju korisnika • Tipu korisnika : autori ili promatrači • Zahtjevanoj funkcionalnosti i modulima • Mogućnosti korištenja : stalna ili na zahtjev • Tipu licence • Cijeni i popustima
Hardver	Kapitalna investicija – samo jednom	8%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju korisnika • Broju mjesta • Zahtjevanoj konfiguraciji • Željenim performansama • Količini podataka i potrebnoj memoriji • Dostupnosti sustava i neprekidnosti rada • Mogućnosti korištenja : stalna ili na zahtjev • Cijeni i popustima
Edukaciji i izboru softvera	Jednokratni trošak	8%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju uključenih sustava • Razumijevanju PLM-a • Znanju tržišta • Trajanju edukacije • Temeljitosti procjene • Uključenosti vanjskog PLM savjetnika

Optimizacija procesa	Jednokratni trošak	8%	<ul style="list-style-type: none"> • Broju procesa • Veličini organizacije • Dokumentaciji postojećih procesa i navika • Metodologiji • Razmijevanju PLM-a • Uključenosti vanjskog PLM savjetnika
Usluga implementacije	Jednokratni trošak	25%	<ul style="list-style-type: none"> • Potrebnoj konfiguraciji i prilagodbi • Uvjetima ugovora • Satnici i popustima
Traning	Jednokratni trošak	5%	<ul style="list-style-type: none"> • Vrsti treninga : prodavač ili stručnjak • Materijalu za trening: standardni ili po narudžbi • Mjestu treninga: kod prodavača ili u vlastitoj firmi ili preko weba
Protok podataka	Jednokratni trošak	5%	<ul style="list-style-type: none"> • Pristup: manualni ili automatizirani • Broju izvora podataka • Tipu podataka • Kvaliteti podataka • Kvantiteti podataka
Podrška nakon implementacije	Trošak koji se ponavlja na godišnjoj razini	5%	<ul style="list-style-type: none"> • Trajanje • Tip i razina podrške • Zahtjevanom roku odaziva • Zahtjevanoj dostupnosti sustava • Satnici i popustima

3. RAČUNALNE APLIKACIJE ZA PLM

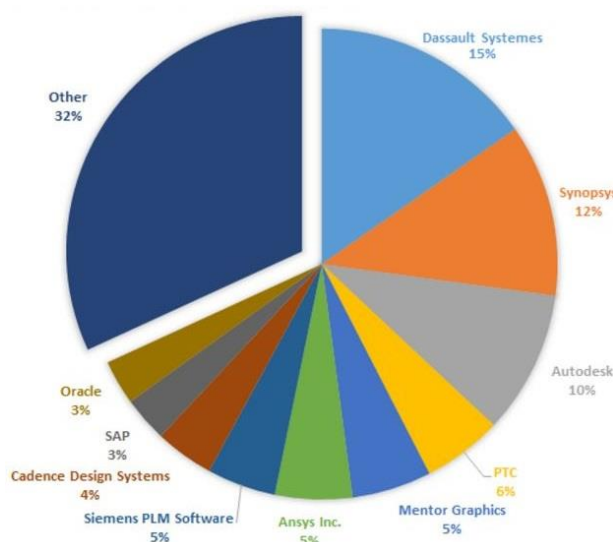
Računalne aplikacije temelj su provedbe PLM-a unutar nekog poduzeća. Koliko je softver bitan za provedbu PLM-a dovoljno govori činjenica da najveći trošak implementacije odlazi upravo na implementaciju softvera. To je kapitalna investicija, ali dugoročno isplativa. U današnje vrijeme postoje mnogi softveri koji imaju za cilj upravljanje životnim vijekom proizvoda, a da bi takvi softveri bili u potpunosti funkcionalni trebali bi biti u mogućnosti pohranjivati i upravljati podacima za [11] :

- Osmišljavanje proizvoda
 - Specifikacije i zahtjevi za proizvod
 - Konceptualni dizajn
- Konstruiranje proizvoda
 - Detaljna tehnička razrada
 - Provjera izvedivosti i analize (simulacije)
 - Alati za izradu
- Ostvarivanje proizvoda
 - Planiranje proizvodnje
 - Izvođenje proizvodnje
 - Sklapanje i montaža
 - Provjera kvalitete
- Usluge vezane uz proizvod
 - Prodaja i distribucija
 - Upotreba i korištenje
 - Održavanje i servisiranje
 - Odlaganje i recikliranje

Neki od softvera koji se koriste prilikom implemenetacije PLM-a biti će danu idućem poglavlju.

3.1. Softveri za PLM

Danas je na tržištu nekoliko glavnih dobavljača PLM sustav i borba je na tržištu velika. Prema podacima iz 2015. godine najveći udio na tržištu ima Dassault Systemes, zatim Synopsys, a iza njih redom slijede, Autodesk, PRC, Siemens PLM Software. Pošto PLM pristup dobiva sve veći zamah u industriji i pošto je primjena PLM koncepta, sama po sebi, konkurentska prednost otvara se veliko tržište raznim dobavljačima softvera. Često dolazi do pojavljivanja manjih tvrtki koje razvijaju svoje softvere, ali vrlo brzo nestanu sa tržišta. Nestanu ili zbog toga što je konkurencija prejak ili zato što ih kupi neka veća tvrtka pa dalje razvijaju i rade za njih. Na slici 6. prikazan je udio pojedinih dobavljača na tržištu.



Slika 6. Udio na tržištu pojedinih dobavljača PLM softvera

3.1.1. Dassault Systemes : ENOVIA MatrixOne

Dassault Systemes je francuska tvrtka sa preko 13 000 zaposlenih i broji preko 90 000 korisnika u 80 država te samim time ima najveći udio na svjetskom tržištu. Predstavlja lidera u razvoju alata za trodimenzionalni prikaz (3D) proizvoda i proizvodnih procesa, kao i PLM rješenja [8].

Kada se govori o PLM softveru ENOVIA misli se na softver koji se prije zvao MatrixOne što lako dovodi do zabune. Tvrtka MatrixOne je osnovana 1983. godine pod imenom Adra Systems, a tek 1997. godine počinje poslovati pod imenom MatrixOne. MatrixOne je proizvođač internetskog softvera za poslovnu suradnju. Može se reći da je jedan

od lidera u isporuci PLM rješenja. Omogućava tvrtkama iz širokog spektra industrije kvalitetno ubrzati inovacije, vrijeme isporuke na tržište, generiranje prihoda potrebnih za razvoj, izgradnju i upravljanje proizvodima. Tvrtka ima sjedište u Lowell, Massachusetts, te nekoliko ureda u Kanadi, Europi i Aziji. U ožujku 2000. godine tvrtka je javno prodala dionice, a u ožujku 2006. godine tvrtku je za 408 milijuna dolara kupio Dassault Systemes. Tada MatrixOne mijenja ime u ENOVIA MatrixOne [12].

PLM softver tvrtke Dassault Systemes pod imenom ENOVIA sastoji se od četiri dijela : CATIA, DELMIA, SOLIDWORKS i SIMULIA. Svaki od tih softvera može se koristiti i odvojeno, ali svi zajedno daju jedno od najobuhvatniji PLM rješenja. CATIA se koristi prilikom virtualnog dizajniranja proizvoda, odnosno to je CAD/CAM/CAE softverski paket. SOLIDWORKS je softver u kojem je omogućeno crtanje 3D modela, dok SIMULIA omogućava analizu metodom konačnih elemenata. Slika 7. prikazuje PLM proizvodni asortiman tvrtke Dassault Systemes.



Slika 7. Proizvodi tvrtke Dassault Systemes [12]

DELMIA (Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application) je alat za digitalnu proizvodnju i simuliranje. Ono omogućuje korisnicima, iz bilo koje industrijske grane, virtualno definiranje, planiranje, kreiranje, praćenje i kontrolu svih proizvodnih procesa.

DELMIA Automation pruža rješenja za digitalno konstruiranje, testiranje, validaciju i kontrolu strojeva, fleksibilnih ćelija ili čitavih proizvodnih linija.

DELMIA PLM omogućuje korisnicima interakciju sa proizvodnim procesima u ranoj fazi konstruiranja i mjesecima prije aktualiziranja proizvodnje. Inženjeri, menadžment i dioničari

imaju 3D vizualizaciju stvarnog stanja proizvodnje, mogućnost „what-if“² analize, optimizacije operacija u pogonu, identifikacije i uklanjanja grešaka u projektiranju proizvodnje. To omogućuje svakom poduzeću dostizanje veće kvalitete proizvoda te poticanje inovativnosti [13].

Pružajući mogućnost optimizacije procesa, DELMIA pomaže kompanijama povećati produktivnost, poboljšati suradnju i skratiti vrijeme probvoja na tržište. [13]

Općenito DELMIA omogućava [14]:

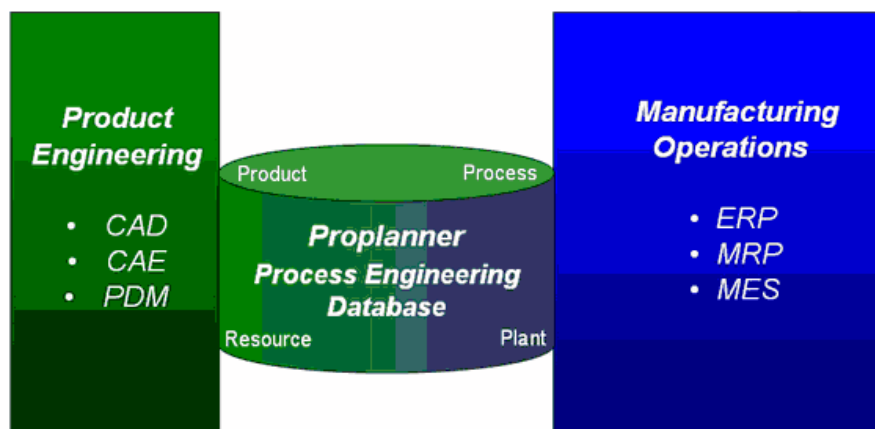
- Kreiranje i optimizaciju proizvoda po narudžbi i proizvodnju prema lean principima
- Unaprijeđivanje odnosa sa dobavljačima materijala, i ostalima sudionicima lanca opskrbe s ciljem podizanja kvalitete proizvoda
- Trenutačnu sposobnost reagiranja na probleme nastale unutar nabavnog lanca, s ciljem da se odži dovoljna razina proizvodnje
- Reduciranje proizvodnih toškova i vezi sa zalihama i doradama
- Podizanje proizvodnosti i sigurnosti.

3.1.2. *Proplanner* [13]

Proplanner je inženjerski alat za proizvodne procese baziran na bazama podataka koji pomaže inženjerima u izradi i upravljanju procesnih informacija u cilju poboljšanja proizvodnih operacija.

Proplanner-ova tehnička baza podataka procesa je mjesto zadržavanja planova procesa sa najnovijim informacija. Povezivanja koraka procesa sa dijelovima, resursima i postrojenjima pruža mogućnost vršenja više procesno inženjerskih zadataka unutar jednog sustava. Proplannerova baza podataka sadrži module za crtanje grafova i dijagrama, davanje izvješća o procesu, pregled radnih uputa, upravljanje resursima i još mnogo toga. [13] Slika 8. prikazuje sastavne dijelove Proplannera.

² What-if analiza- tip analize koji promatra što se događa ako se promijene određeni parametri



Slika 8. Proplaner [13]

3.1.3. PTC : Windchill

PTC (Parametric Tehnology Corporation) je tvrtka osnovana 1985. godine koja proizvodi i održava CAD/CAM/CAE te PDM/PLM softver za više od 50 000 poduzeća širom svijeta [12]. U to je uključena zrakoplovna industrija, vojna industrija, automobilska industrija, medicinski uređaji. PTC ima šest temeljnih familija proizvoda : Creo, Windchill, Mathcad, Integrity, Servigistics, ThingWorx. Primarna zadaća tih familija proizvoda je da projektiraju, upravljaju i održavaju složene proizvode i proizvodne sustave.

WINDCHILL je softver koji spada u kategoriju PLM i PDM softvera kojeg trenutno koristi više od 1,1 milijun korisnika diljem svijeta. Koristi se u tvrtkama svih veličina, od najmanjih radionica pa do globalnih korporacija. Windchill je originalno razvijen od strane Winchill Technology INC i prvi puta je pušten u javnost 1998. godine.

Windchill se sastoji od više PDM podsustava, a to su [15]:

- Windchill PDMLink [12]:
 - upravljanje podacima o proizvodu
 - podrška timskom radu (jedna ili više lokacija)
 - podrška kompleksnom procesu razvoja proizvoda
 - upravljanje promjenama
 - upravljanje konfiguracijama
- Windchill ProjectLink [12]:
 - upravljanje procesima suradnje

- upravljanje projektima
- Windchill MPMLink [12]:
 - izrada tehnološke sastavnice proizvoda
 - planiranje proizvodnje (operacije, resursi)
 - automatizacija izrade radnih naloga
- Flex PLM
 - PLM rješenje za maloprodaju, prodaju obuće i odjeće i ostale potrošačke proizvode tvrtki
- Arbortext Content Manager
 - Pomaže kreiranje sadržaja, suradnju, upravljanje i objavljivanje procesa koji se odnose na tehničke proizvode i servisne informacije
- Značajke aplikacije Windchill [12]:
 - potpuna Internet tehnologija
 - integrirana logika poslovanja
 - web standardna komunikacija
 - web preglednik sučelje
 - podrška za raznovrsne CAD alate
- Prednosti [12]:
 - jedan izvor informacija o proizvodu / bolja učinkovitost i manja vjerojatnost pojave greške
 - potpuna definicija proizvoda
 - informacija neovisna o izvoru
 - potpuna integracija s Pro/ENGINEEROM
 - jedna “home page” sa svim informacijama
 - Microsoft office integracija

3.2. Siemens PLM

Siemens PLM je softver za upravljanje životnim ciklusom proizvoda koji razvija tvrtka Siemens AG. Siemens AG je tvrtka osnovana 1847. godine u Berlinu. Danas tvrtka djeluje kao dioničko društvo i broji 398 000 zaposlenih u preko 190 zemalja svijeta [16]. Tvrtka djeluje u nekoliko područja : industrijska automatizacija, infrastrukturna gradnja, energija,

pogonska tehnologija, zdravstvo i mobilnost. Također, Siemens AG je poznat kao tvrtka koja financira projekte i zanimljive ideje, te pruža razne usluge u sektorima industrije, energije, zdravstva i mobilnosti. [16]

Unutar područja industrijske automatizacije, u Siemens-u, radi se na razvijanju i implementaciji softvera Siemens PLM. Softver koji danas djeluje pod imenom Siemens PLM, razvijen je 1969. godine od strane tvrtke United Computing i zvao se UNIAPT. U to vrijeme takav softver bio je jedan od prvih CAM proizvoda. Kasnije United Computing kupuje kod tvrtke MGS i na temelju tog koda razvijaju novi softver nazvan UNI-GRAPHICS.

Godinu kasnije tvrtka je kupljena od strane tvrtke McDonnell Douglas u sklopu koje se nastavilo daljnje razvijanje CAD/CAM softvera te je 1980. godine u prodaju prvi puta pušten 3D softver za modeliranje. Godine 1991. McDonnell Douglas Systems Integration groups, uključujući i Unigraphics Group kupljen je od strane EDS-a (sastavni dio General Motors-a), i započeli su djelovanje pod imenom EDS Unigraphics. Godine 1997. EDS je organizirao odjel Unigraphics kao vlastitu podružnicu nazvanu Unigraphics Solutions [17].

Unigraphics 2001. mijenja ime u UGS. Iste godine EDS kupuje konkurentsku tvrtku SRDC. 2003. UGS ostvaruje prava na MSC Nastran softverski kod, te nakon toga dolazi do spajanja UGS, SRDC-a te Nastran-a te preimenovanja u EDS PLM Solutions. EDS prodaje svoja poslovna prava na EDS PLM Solutions dioničarima grupe Bain Capital, Silver Lake Partners i Warburg Pincus 2004.. Kompanija nastavlja s radom pod imenom UGS. Godine 2005. UGS je kupljen od strane Tecnomatix Technologies Ltd [17].

Godine 2007. njemački elektronički div Siemens AG najavljuje kupnju UGS za 3,5 milijardi dolara, a završetku kupnje UGS postaje dio Siemens Automation & Drives odjela pod imenom Siemens PLM Software [17].

Danas, Siemens PLM Software, nudi cijelu paletu različitih softvera [18]:

- Teamcenter – integrirani komplet alata za PLM i cPD, pomaže kod izbacivanja sve kompleksnijih proizvoda na tržište na način da maksimizira produktivnost i povećava učinkovitost operacija.
- NX - softverski paket za CAD/CAM/CAE
- Tecnomatix – softverski paket za planiranje i optimizaciju proizvodnje
- Active Integration – osigurava suradnju između Teamcentra i drugih poslovnih aplikacija sustava

- Solid Edge - paket softverskih alata koji se bave svim aspektima razvoja proizvoda od 3D dizajna, simulacije, proizvodnje, upravljanja itd.
- Fibersim – softver koji se koristi za modeliranje proizvoda od kompozitnih materijala
- Syncrofit – softver koji se koristi za projektiranje i proizvodnju složenih sklopova i dijelova za avionsku industriju
- Femap – služi za modeliranje i analizu metodom konačnih elemenata
- LMS – paket softvera za mehatroničke simulacije i testiranja
- Quality Planning Environment(QPE) – planiranje kvalitete okolišta, ima za cilj učiniti radnu okolinu što kvalitetnije projektiranom
- PLM komponente - omogućuje jednostavno dijeljenje informacija i podataka između tvrtke, dobavljača i partnera, bez obzira na različite PLM softvere koje te tvrtke koriste
 - Parasolid
 - D-Cubed
 - Geolus Search
 - JT Open
 - Kineo
 - PLM Vis
 - PLM XML
 - Rulestream Engineer-too-Order

3.2.1. Tecnomatix [18]

Tecnomatix je paket softvera koji omogućuje inovacije povezujući proizvodne discipline s izradom samo proizvoda. U to su uključeni plan proizvodnje, upravljanje procesima unutar simulacije i same proizvodnje. Služi kao poveznica između projektiranja proizvoda te njegove isporuke kupcu, istovremeno upravljajući projektiranjem te provedbom samog proizvodnog sustava.

Prednosti koje ovaj softver donosi su višestruke, počevši od skraćivanja vremena potrebnog za isporuku, preko mogućnosti usklađivanja proizvodnih kapaciteta pa sve do

povećanja proizvodnosti i efikasnosti tvrtke. Sve je to moguće postići na način da se optimizacija proizvodnog sustava izvrši u virtualnom okruženju, a zatim se situacija preslika na stvarno poduzeće.

Analiza procesa, planiranje proizvodnje te diskretne simulacije doprinose povećanju potrebnih ulaganja. Tecnomatix svoju primjenu nalazi i kod procjene isplativosti korištenja usluga kooperanata u proizvodnji određenih komponenti kao i u isplativosti obavljanju pojedinih operacija na proizvodu unutar vlastitog poduzeća.

Unutar ovog softverskog paketa sadržana su rješenja za:

- Planiranje dijelova i validaciju
- Planiranje sklopova i validaciju
- Planiranje automatizacije i robotike
- Projektiranje i optimizaciju postrojenja tvornice
- Upravljanje kvalitetom
- Upravljanje proizvodnjom
- Upravljanje proizvodnim procesima

3.2.1.1. *Plant Simulation [18]*

Unutar rješenja vezanih za *projektiranje i optimizaciju postrojenja tvornice* nalazi se softver Plant Simulation. Plant Simulation je softver koji omogućuje simulaciju, vizualizaciju, analizu i optimizaciju proizvodnih i logističkih sustava. Koristeći Plant Simulation moguće je optimizirati tokove materijala, iskorištenje resursa i logistiku svih razina u projektiranju proizvodnih sustava. Plant Simulation ima širok spektar primjene i koristi se kako sa optimizaciju proizvodnih linija tako i za optimizaciju pojedinih pogona ili čak cijelih poduzeća. Plant nam omogućuje nam uspoređivanje više različitih proizvodnih alternativa i scenarija uzimajući u obzir samo logiku procesa. Omogućena je i „*what-if*“ analiza kojom je moguće promatrati kako će promjene određenih proizvodnih parametara utjecati na samu proizvodnju i rokove isporuke.

Kao programski jezik Plant Simulation koristi poseban jezik pod imenom *SimTalk*.

Uz Plant Simulation moguće je:

- Pronaći i ukloniti probleme u sustavu bez zastoja realnog sustava

- Minimizirati investicijske troškove proizvodnih linija bez ugrožavanja kvalitete outputa
- Optimizirati performanse postojećih sustava poduzimajući potrebne mjere koje su verificirane u simulacijskom modelu

Neki od benefita korištenja Siemens Plant Simulationa su:

- Do čak 6% mogućih ušteda prilikom početnih ulaganja
- Povećanje produktivnosti postojeće proizvodnje do čak 20%
- Smanjenje troškova novih sustava do 20%
- Optimizacija korištenja resura i njihovog ponovnog iskorištenja
- Smanjenje zaliha do čak 60%
- Smanjiti vrijeme isporuke do čak 60%
- Oprimiziranje sustava radi smanjene potrošnje energije

3.2.1.2. Osnove rada u Plant Simulation 12.2

Program se pokreće duplim klikom na ikonu Tecnomatix Plant Simulation 12.2, a nakon toga se kreira novi model pritiskom na tipku *File* → *New*. Pojavit će se prozor u kojem su može odabrati opcija 2D izrade modela, 3D izrade modela ili 2D i 3D zajedno. Klikom na jednu od opcija dodaje se novi okvir unutar kojeg se slaže sustav koji se želi simulirati. Koju god opciju da odaberemo, kasnije, unutar softvera, je moguće uključiti i onu drugu.

Ako se pojavi potreba za novi okvirom, mišem treba doći u knjižnicu, stisnuti desni klik na datoteku „*Models*“, zatim kliknuti na opciju „*new*“ i kliknuti „*frame*“.

Prilikom otvaranja novog okvira na ekranu nam se pojavi samo ikona sata, odnosno „*Event_controller*“. Event kontroler, ili na hrvatski upravljač događajima, služi za pokretanje i zaustavljanje simulacije, te namještanje vremena trajanja simulacije. Na slici 9. je vidljiv dodatak upravljača događajima koji se nalazi na alatnoj traci.

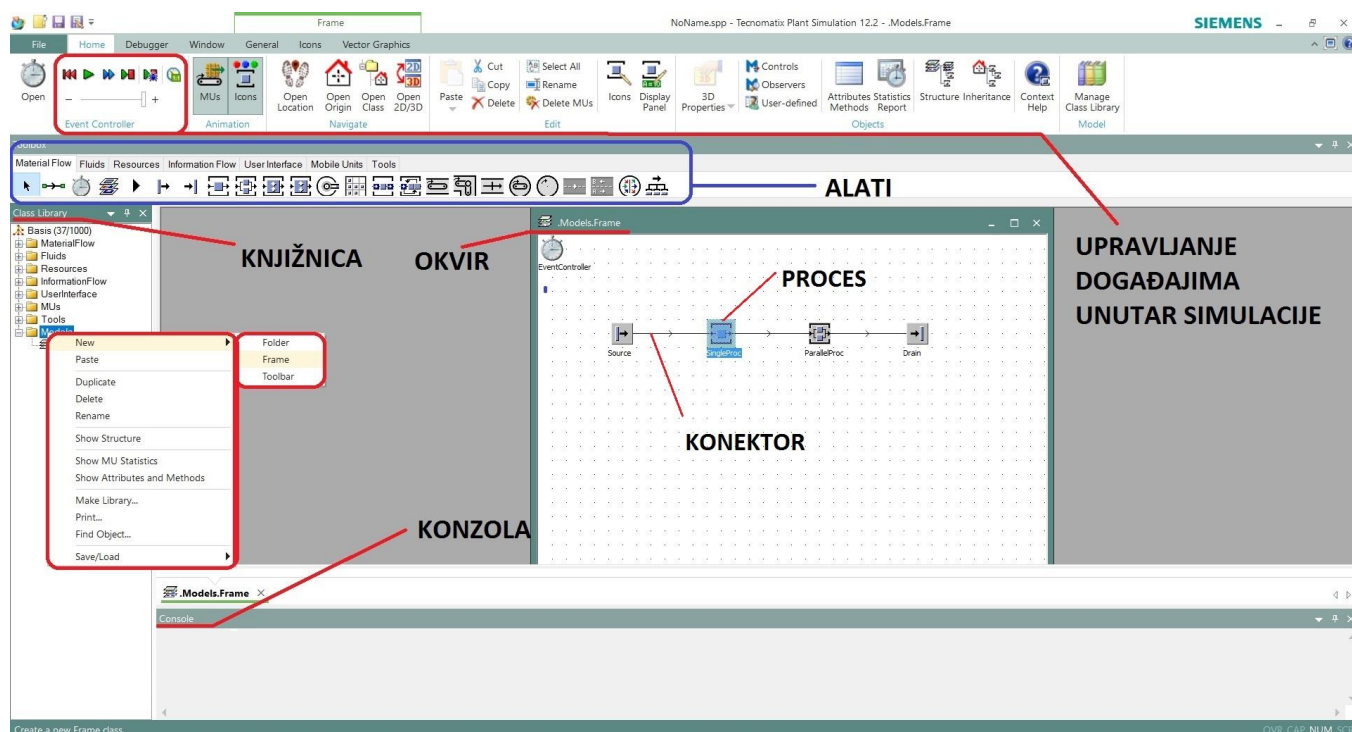
Da bi bilo moguće ubacivati procese unutar okvira potrebno je stisnuti *Window* → *Toolbox*. Nakon što je stisnuta opcija *Toolbox*, pojavljuje se dodatna alatna traka preko koje se, na principu *drag&drop*(povuci i ispusti), procesi ubacuju u simulaciju.

Također, pritiskom na *Window* → *Console* u dnu ekrana pojavljuje se konzola koja služi za prikazivanje svih informacija nastalih unutar simulacije.

Dodavanje pokretnih jedinica unutar simulacije radi se unutar datoteke *MUs* koja se nalazi u knjižnici. Moguće je dodati entitete, transportere (prijevozna sredstva kao što je šleper), kontejnere i sredstva za odlaganje.

Procesi se povezuju preko konektora koji se nalazi unutar alatne trake ili pozivanjem metode koja se programira u programskom jeziku *SimTalk*.

Prikaz osnovnih funkcija unutar Plant Simulationa dan je na slici 9.



Slika 9. Grafičko sučelje Plant Simulationa

Kako bi simulacija imala smisla u nju moraju biti ubačeni različiti procesi. Procese, kao što je gore navedeno, ubacujemo preko prozora *Toolbox* i za svaki proces treba definirati određene parametre (detalnije će biti prikazano u poglavlju 5. Izrada simulacije postojeće proizvodnje). Osim procesa, preko alatne trake *Toolbox*, mogu se ubacivati i različiti dijagrami koji služe za analizu samog procesa.

U nastavku biti će objašnjeni najčešće korišteni procesi i dijagrami unutar simulacija.



- „Source“ – izvor; služi za ulaz pokretnih jedinica u proces



- „Drain“ – odvod; služi za izlaz pokretnih jedinica iz procesa



- „SingleProc“ – pojedinačni proces; u simulaciji može imati ulogu operacije na stroju, pakiranja, lakiranja itd.



- „ParallelProc“ – paralelni proces; više pojedinačnih proces koji se mogu odvijati paralelno



- „Assembly“ – sklop; služi za sklapanje više pozicija u jedan sklop, npr. montaža



- „DismantleStation“ – rastavljanje; služi za rastavljanje sklopova, npr. rastavljanje sklopa na dijelove, skidanje komada sa palete itd.



- „Buffer“ – međuskladište; služi kao međuskladište ili sredstvo za odlaganje



- „Chart“ – dijagram; služi za analizu zauzetosti strojeva ili određivanje točnog broja komada na nekom procesu ili stanici



- „BottleneckAnalyzer“ – dijagram za analizu uskih grla³; služi za pronalazak uskih grla unutar procesa



- „SankeyDiagram“ – Sankijev dijagram; služi za prikazivanje intenziteta toka materijala između određenih procesa; što je deblja linija između dva procesa to je veći intenzitet toka materijala, što je linija tanja to je intenzitet toka materijala manji

³ Usko grlo- resurs koji ograničava proizvodnju; radi njega dolazi do zagušenja linija, slabije proizvodnosti itd.

4. KONČAR MES KAO SASTAVNI DIO KONČAR ELEKTROINDUSTRIJE

U ovom poglavlju biti će izložene osnovne informacije o KONČAR elektroindustriji d.d. i KONČAR MES d.o.o.-u kao sastavnom dijelu elektroindustrije. Dati će se uvid u proizvodni program tvrtke KONČAR MES d.o.o. Kratica MES proizlazi iz punog naziva tvrtke „Mali električni strojevi“.

Također, biti će opisan tehnološki proces izrade ventilatora, biti će prikazana vremena trajanja pojedinih operacija, radna mjesta i strojevi na kojima se operacije događaju.

Na kraju poglavlja biti će prikazana radna mjesta koja se koriste prilikom izrade ventilatora, a posebna će se pozornost obratiti na montažno radno mjesto.

4.1. KONČAR - Elektroindustrija d.d. [19]

Tvrtka KONČAR osnovana je 1921. godine te je kroz svoj dugogodišnji rad postala sinonim za kvalitetno i odgovorno poslovanje. Društvo je osnovano pod imenom „Elektra d.d.“, da bi 1946. bilo preimenovano u „RADE KONČAR“ i to ime je zadržano sve do 1991. godine. Godine 1991., društvo dobiva ime „KONČAR – Elektroindustrija d.d.“, i pod tim nazivom djeluje i danas.

Kao koncern, KONČAR – Elektroindustrija d.d., broji oko 3700 zaposlenih, godišnji promet iznosi oko 320 milijuna eura dok je prihod otprilike 3 milijarde kuna. KONČAR-Elektroindustrija čak 52% svojih proizvoda izvozi. [20]

Temeljna djelatnost, KONČARA kao grupe, je proizvodnja opreme i postrojenja za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije, kao i opreme za primjenu u području transporta i industrije. KONČAR je kompanija koja cijeni ljude, a kontinuirano obrazovanje zaposlenika jedan je od najvažnijih strateških ciljeva. Unutar grupacije naglasak je stavljen na istraživanje i razvoj, koji se kontinuirano provode međusobnom suradnjom KONČAR društava te Sveučilišta u Zagrebu, a takva suradnja predstavlja ključnu konkurentsku prednost na domaćem i stranom tržištu. Također, velika se pažnja posvećuje funkcionalnom obrazovanju djelatnika tvrtke kako bi konstantno mogli unaprijediti svoje proizvode i usluge te na taj način biti konkurentni na tržištu.

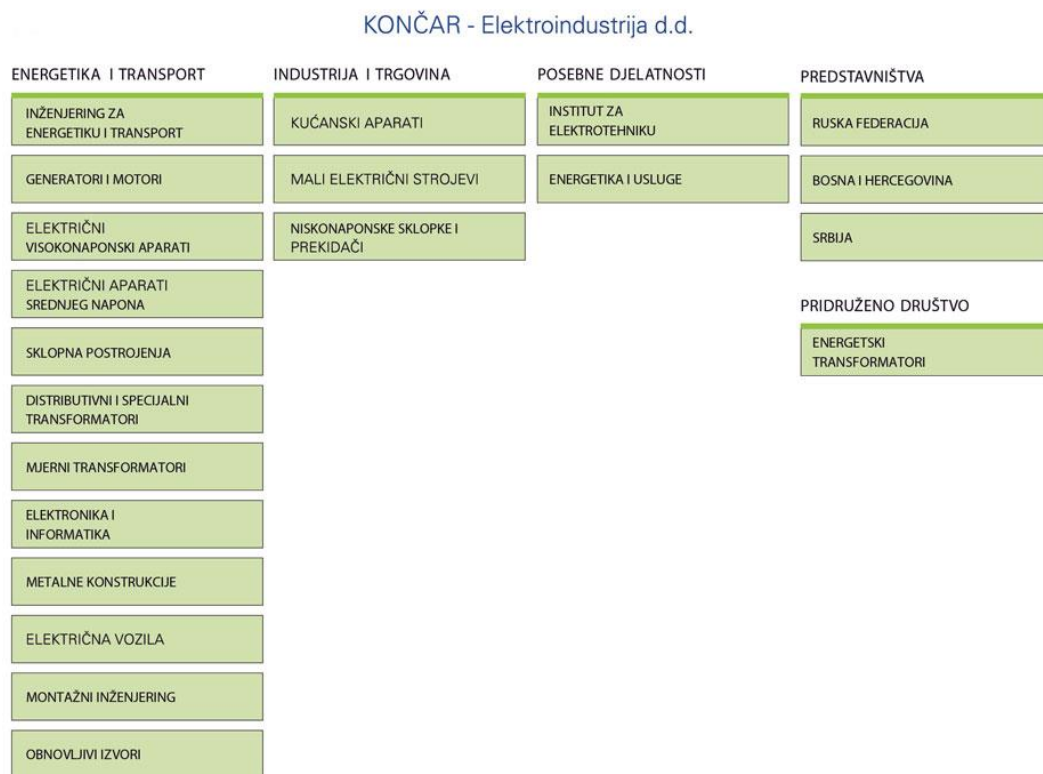
Poslovna politika Grupe KONČAR usmjerena je na zadovoljavanje potreba i očekivanja kupaca i svih zainteresiranih strana (dionika) kroz upravljanja poslovnim sustavom, upravljanje resursima i procesima, te njihovim kontinuiranim poboljšavanjem. Kvaliteta proizvoda i usluga postiže se ispunjavanjem potreba i zahtjeva kupaca tijekom nastajanja proizvoda i usluga, od ugovaranja, razvoja, izrade i isporuke, do pružanja usluga kupcima tijekom uporabe proizvoda i usluga.

KONČAR je organiziran kao Grupa, odnosno dioničko društvo s više od 4000 domaćih i stranih ulagatelja, koja se stastoji od krovnog društva KONČAR – Elektroindustrija d.d., te 17 ovisnih i jednog pridruženog društva. Društva djeluju u područjima:

1. Energetike i transporta
2. Industrije i trgovine te
3. Posebnim djelatnostima.

Također, KONČAR - Elektroindustrija d.d. ima svoja predstavništva u Rusiji, BiH i Srbiji.

Struktura KONČAR- Elektroindustrije d.d. dana je na slici 10.

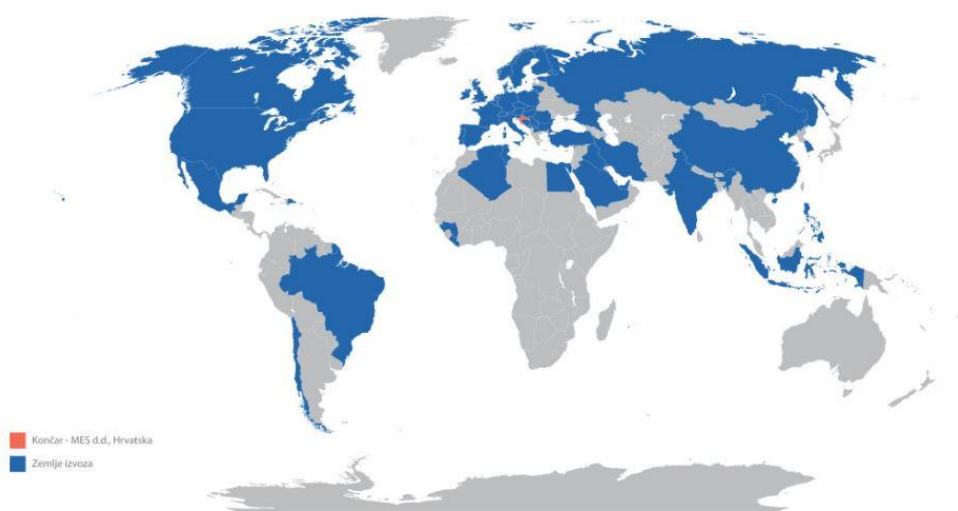


Slika 10. Struktura KONČAR-Elektroindustrije d.d.[1]

4.2. KONČAR MES d.d. [20]

KONČAR-MES d.d. je hrvatska tvrtka, potekla iz ogranka firme SIEMENS koja je 1921. godine utemeljila dioničko društvo „ELEKTRA“. Godine 1946. poduzeće mijenja ime u Tvornica električnih strojeva “RADE KONČAR“ i to ime zadržava sve do 1996. kada se mijenja organizacijski oblik društva te od tada posluje kao dioničko društvo KONČAR – Mali električni strojevi d.d. u sustavu KONČAR – Elektorindustrija d.d. [21]. KONČAR MES je tvrtka koja se bavi proizvodnjom različitih vrsta elektromotora, ventilatora i pogona, a zapošljava stotinu devedeset i osam radnika. Proizvodni program baziran je na 60-godišnjem iskustvu podržanom vlastitim razvojem, konstantnim unapređenjem tehnologije i proizvodnih procesa te kvalitetnim servisom što čini dobru osnovu za ostvarivanje dugoročnih ciljeva. Godišnji kapacitet tvrtke je oko 150 000 komada elektromotora, a jedan od najvrijednijih potencijala čini kompetentno i školovano tehničko osoblje, posebno inženjeri koji koriste svoja znanja i sposobnosti u primjeni novih ideja u proizvodima tvrtke. [21]

Poslovnom strategijom nastoje biti stalno prisutni u krugu uspješnih proizvođača pogonske tehnike na svjetskom tržištu. Tvrtka teži stalnom rastu proizvodnje ispunjavanjem zahtjeva tržišta te želja kupaca diljem svijeta što dokazuje jedno od većih mjesta u proizvodnji elektromotora i pogona u regiji, kao i činjenica da više od 60% svojih proizvoda izvoze na tržišta Europske Unije. [21] Zemlje u koje se izvoze proizvodi tvrtke KONČAR- MES prikazane su na slici 11.

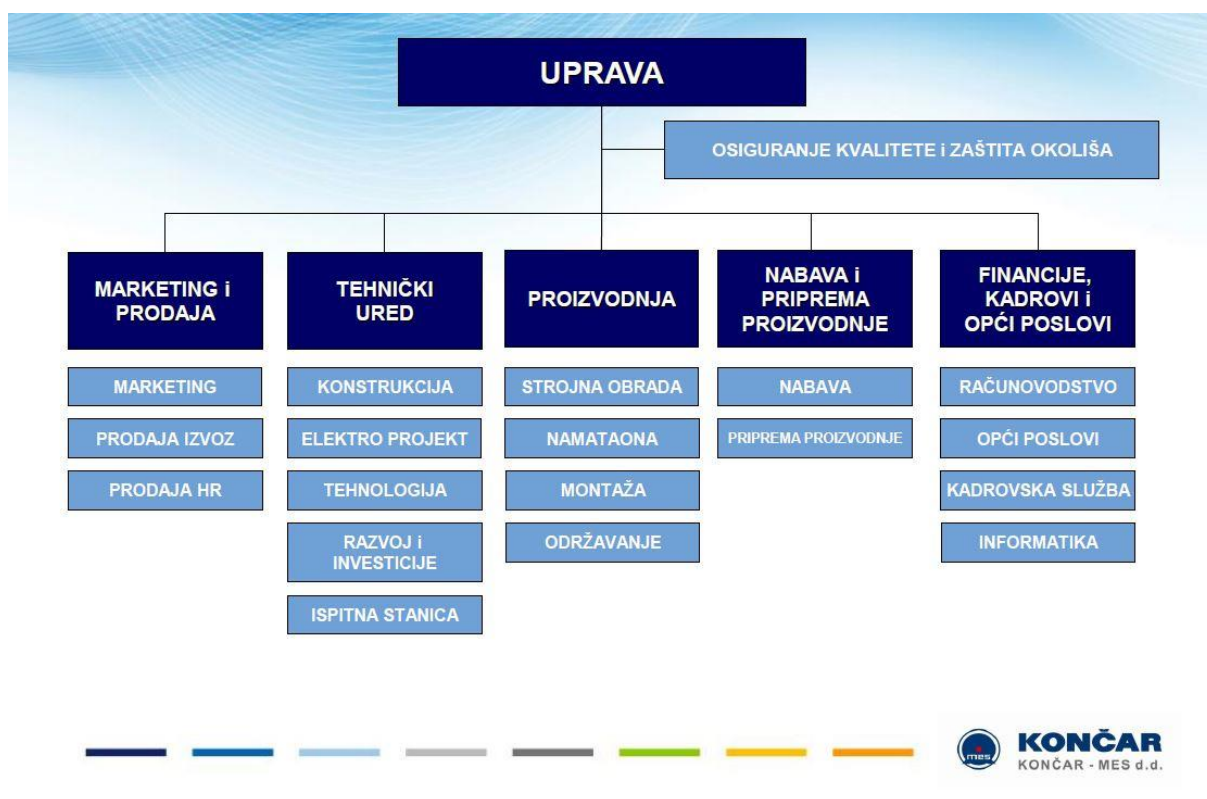


Slika 11. Zemlje u koje se izvoze proizvodi tvrtke KONČAR MES[21]

Na čelu organizacijske strukture tvrtke nalazi se uprava čiji je predsjednik gosp. Josip Ljulj, dipl. org., a član uprave je gosp. Šimun Ercegovac, dipl. ing. Tvrtka je podijeljena u pet sektora:

1. Marketing i prodaja,
2. Tehnički ured,
3. Proizvodnja,
4. Nabava i priprema proizvodnje,
5. Financije, kadrovi i opći poslovi.

Služba za osiguranje kvalitete i zaštite okoliša djeluje kao poseban odjel. Organizacijska struktura prikazana je na slici 12. [20]



Slika 12. Organizacijska struktura tvrtke KONČAR MES[20]

4.2.1. *Proizvodni program tvrtke[20]*

Proizvodni program tvrtke sastoji se od proizvodnje elektromotora, ventilatora, proizvodnje pojedinačnih komponenti za elektromotore i ventilatore, proizvodnje elektromotornog pogona te pružanja usluga servisa ventilatora, motora i proizvoda iz kooperacije.

1) Proizvodni asortiman elektromotora

- Trofazni elektromotori
- Jednofazni elektromotori – prikazan je na slici 13.
- Višebrzinski elektromotori
- Motori u brodskoj izvedbi, motori za vitla
- Elektromotori s kočnicom
- Elektromotori u protueksplozijskoj zaštiti
- Motori u INOX kućištu (KBS serija)



Slika 13. Jednofazni motor tvrtke KONČAR MES [20]

2) Proizvodni asortiman ventilatora

- Aksijalni ventilatori
- Centrifugalni ventilatori
- Specijalne izvedbe aksijalnih i centrifugalnih ventilatora

3) Proizvodnja pojedinačnih komponenti

- za proizvode iz svog proizvodnog programa tvrtka nudi mogućnost nabave svih dijelova koje se ugrađuju u proizvode, a za proizvode iz kooperacije osigurava servis i popravak u najkraćem mogućem roku.

4) Elektromotorni pogon

- Elektromotori s reduktorom
- Elektromotori s pretvaračem
- Elektromotori s upravljačkim ormarima

5) Proizvodi iz kooperacije

- Reduktori
- Frekvencijski pretvarači

6) Pružanje usluga i servisa

- Servis omogućuje popravak elektromotora, kvalitetno prematarnje motora sa snimanjem namota, mogućnost prodaje na principu „staro za novo“, a uz sve to tvrtka je o ovlašteni popravljач EX⁴ motora i ventilatora
- Tvrtka pruža usluge sačmarenja, strojne obrade, rezanja i balansiranja

Na slici 14. prikazana je usporedba stanja ventilatora prije i nakon servisa.



Slika 14. Stanje ventilatora prije i nakon servisa[20]

⁴ EX oznaka – oznaka za protueksplozivnu zaštitu elektromotora

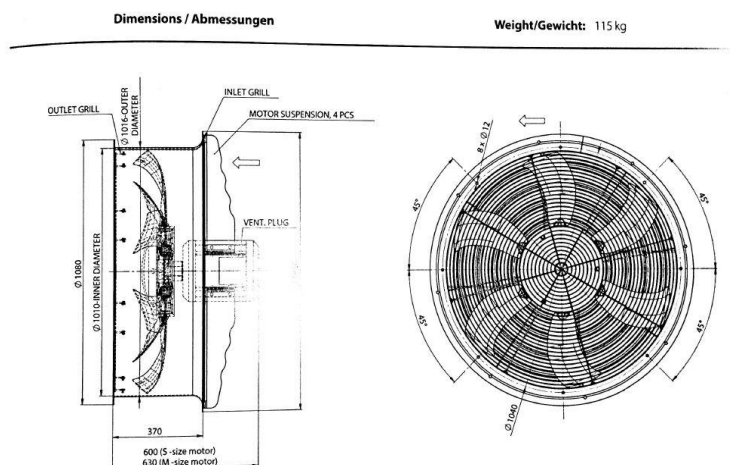
4.2.2. Tehnološki proces izrade i primjena ventilatora VAAZ C1000WF

Ventilator VAAZ C1000 WF, za kojeg će kasnije biti rađena simulacija proizvodnje, aksijalni je tip ventilatora tvrtke KONČAR MES. Ugrađuje se u transformatore i služi za hlađenje istih. Njihova konstrukcija se sastoji od specijalnih niskotlačnih lopatica impelera⁵, koje se označavaju sa oznakom WF, usisnog ušća te nosača motora sa zaštitnom mrežicom.

Neke od karakteristika takvih ventilatora su:

- Niski nivo buke s visokim protokom zraka
- Visoka učinkovitost i niski nivo potrošnje energije
- Siguran rad na svim vremenskim uvjetima
- Posebna zaštita od korozije za rad na otvorenim prostorima
- Prilagođeni su svim položajima ugradnje
- Moguće su specijalne izvedbe prema zahtjevima kupaca. [20]

Na slici 15. dan je tehnički crtež ventilatora VAAZ C1000. Ovaj crtež vrijedi za sve ventilatore tipa C1000 WF. Ovisno o potrebnim protocima zraka, na ventilatorima se razlikuju veličine lopatica impelera.



Slika 15. Tehnički crtež ventilatora tipa VAAZ C1000WF [22]

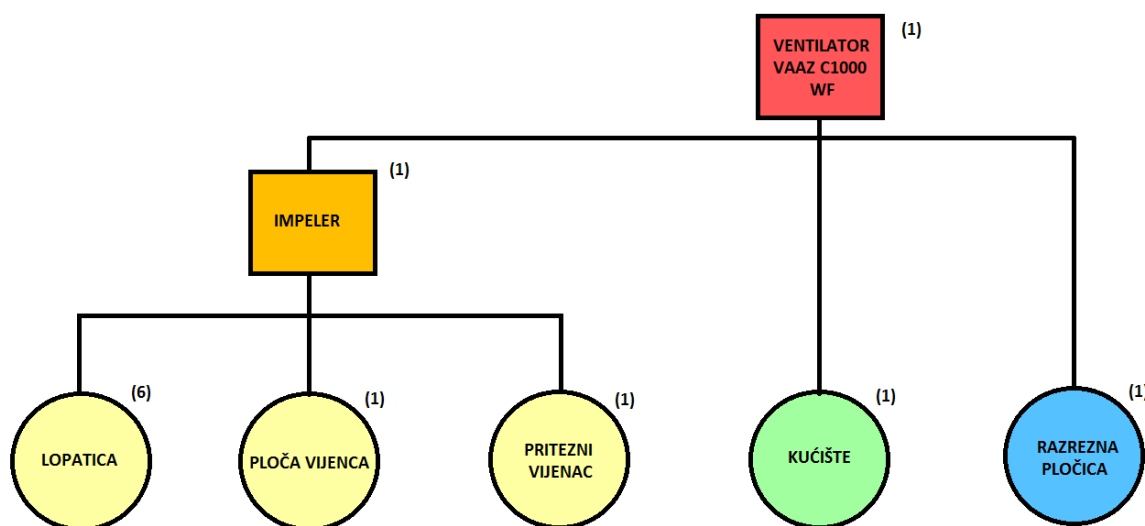
⁵ impeler – strojni dio; rotor pumpe/ventilatora koji služi za hlađenje

→ **Tehnološki proces izrade ventilatora VAAZ C1000WF**

Ventilator VAAZ C1000WF sastoji se od nekoliko ugradbenih elemenata [23]:

- 1) Kućišta ventilatora
- 2) Impelera koji se sastoji od :
 - Ploče vijenca
 - Šest lopatica
 - Priteznog vijenca
- 3) Razrezne pločice
- 4) Ostalih montažnih dijelova.

Na slici 16. dana je količinska sastavnica za montažu jednog ventilatora VAAZ C1000WF.



Slika 16. Količinska sastavnica montaže jednog ventilatora VAAZ C1000WF

Iz prikaza na slici 7. vidljivo je da montaža impelera ne može početi prije nego posjedujemo šest lopatica, jednu ploču vijenca i jedan pritezni vijenac.

Prije prikaza tehnoloških procesa svakog pojedinog dijela ili sklopa, važno je naglasiti da međusušenja nakon ličenja traju 6h, a završno sušenje komada traje 24h. Sušenje nije navedeno u tehnološkom listu, ali se u realnoj proizvodnji podrazumijeva.

U nastavku će, za svaku poziciju, biti dan tehnološki postupak.

4.2.2.1. Tehnološki proces izrade kućišta [23]

Oznake u tablicama(vrijedi za sve tablice) :

RM – radno mjesto

V.O. – vrijeme trajanja operacije

Tehnološki proces izrade kućišta dan je u Tablici 3.

Tablica 3. Tehnološki proces izrade kućišta

Br.oper.	Naziv	V.O. [min:s]	RM	Naziv RM
0010	Savijanje kućišta	5:42	81001	Stroj za savijanje
0020	Zavarivanje kućišta	6	81002	Stroj za linearno zavariv.
0030	Brušenje zavara	10:01	81004	Ručni radovi
0040	Formiranje i probijanje ravne – ispušne prirubnice	4:30	81003	Stroj za izradu prirubnice
0050	Formiranje i probijanje usisne prirubnice	6	81003	Stroj za izradu prirubnice
0060	Bušenje bočnih rupa za prihvat mreže	6	81004	Ručni radovi
0065	Obrade bridova i rupa	4:48	81004	Ručni radovi
0070	Vruće cinčanje	5 dana	Usluga	Usluga

4.2.2.2. Tehnološki proces ličenja seta dijelova s kućištem[23]

Tehnološki proces ličenje kućišta obuhvaća ličenje nekoliko dijelova istovremeno. Vremena su zadana za set dijelova koji se sastoji od :

- Kućišta VAAZ C1000 – 1kom
- Nosača C1000 M132 – 4 kom (kupovna komponenta)
- Zaštitna rešetka usisna – 1 kom (kupovna komponenta)
- Zaštitna rešetka ispušna – 1 kom (kupovna komponenta)

Tehnološki postupak ličenja kućišta dan je u Tablici 4.

Tablica 4. Tehnološki proces ličenja seta dijelova s kućištem

Br.oper.	Naziv	V.O. [min:s]	RM	Naziv RM
0003	Priprema seta dijelova	7:12	8111	Bravarski radovi
0005	Pjeskarenje dijelova	28:48	8112	Pjeskarilica VESPA
0006	Priprema boje	0:11	7121	Linija za ličenje - VM
0010	Temeljno ličenje seta dijelova sa međusušenjem	28:36	7121	Linija za ličenje - VM
0020	Međuslojno ličenje seta dijelova sa međusušenjem	9:25	7121	Linija za ličenje - VM
0030	Završno ličenje seta dijelova sa sušenjem	28:36	7121	Linija za ličenje - VM

4.2.2.3. Tehnološki proces izrade razrezne pločice 132[23]

Tehnološki proces za razreznu pločicu dan je u Tablici 5.

Tablica 5. Tehnološki proces izrade razrezne pločice

Br.oper.	Naziv	V.O. [min:s]	RM	Naziv RM
0010	Ličenje, temeljno + završno	2	7121	Linija za ličenje - VM
0020	Kontrola	0:36	7321	Mehanička i završna kontrola

4.2.2.4. Tehnološki proces izrade dijelova za impeler i montaže imepelera[23]

a) Tehnološki proces izrade priteznog vijenca

Pritezni vijenac može se izrađivati na dva načina:

- Linija sa CNC tokarilicom PUMA280

Tehnološki proces za izradu priteznog vijenca na CNC PUMA280 dan je u Tablici 6.

Tablica 6. Tehnološki proces izrade priteznog vijenca na CNC PUMA280

Br.oper.	Naziv	V.O. [min:s]	RM	Naziv RM
0010	Tokarenje rupe, bušenje, zaravnavanje	6	28112V	CNC tok PUMA-280
0020	Narezivanje navoja	1:48	21000	Linija bušilica
0030	Izrada utora za klin, skidanje srha	11:06	11412	RAVENSBURG blanjalica
0040	Pranje i odmašćivanje	0:07	81471	BUPI uređaj

- Linija sa CNC tokarilicom TU480

Tehnološki proces za izradu priteznog vijenca na CNC TU480 dan je u Tablici 7.

Tablica 7. Tehnološki proces izrade priteznog vijenca na CNC TU480

Br.oper.	Naziv	V.O. [min:s]	RM	Naziv RM
0010	Tokarenje	4:30	28112	CNC tok TU480
0020	Bušenje rupa i urezivanje navoja M8	4:12	28311	HAAS VF-3 CNC glodalica
0030	Izrada utora za klin, skidanje srha	11:06	11412	RAVENSBURG blanjalica
0040	Pranje i odmašćivanje	0:07	81471	BUPI uređaj

b) Tehnološki proces montaže i lakiranje impelera

Tehnološki proces montaže i lakiranje dijelova impelera sastoji se od seta dijelova, a set sadrži:

- Lopatice AL TIP WF 10007319/40-nerezana – 6 kom (kupovne komponente)
- Pritezni vijenac – 1 kom
- Ploča vijenca – 1 kom (kupovna komponenta)
- Ostali montažni dijelovi potrebni za montažu impelera.

Sva vremena u tablici zadana su za set dijelova.

Tehnološki proces prikazan je u Tablici 8.

Tablica 8. Tehnološki proces montaže i lakiranja impelera

Br.oper.	Naziv	V.O. [min:s]	RM	Naziv RM
0001	Strojno,pranje i odmašćivanje dijelova	3	81471	BUPI uređaj za odmašćivanje
0004	Temeljno ličenje dijelova	7:48	7121	Linija za ličenje - VM
0005	Vaganje krilaca i označavanje težine radi raspoređivanja mase	1:48	7143	Izrada komponenti i montaža
0010	Montaža ventilatorskog kola	13:12	7143	Izrada komp. i montaža
0015	Kontrola mjera	1:59	7143	Izrada kom. i montaža
0020	Rezanje krilca na mjeru i kontrola	7:12	7143	Izrada komp i montaža
0030	Pjeskarenje impelera	10:12	8112	Pjeskarilica VESPA
0035	Ličenje kistom na dosjedima između lopatica i vijenaca	1:02	7121	Linija za ličenje - VM
0040	Priprema boje	0:11	7121	Linija za ličenje - VM
0042	Temeljno ličenje + međusušenje	5:06	7121	Linija za ličenje - VM
0043	Završno ličenje sa sušenjem	5:06	7121	Linija za ličenje - VM
0045	Balansiranje dodavanjem utega	15	84213S	SCHENCK HS30BU

4.2.2.5. Tehnološki proces montaže i isporuke gotovog ventilatora [23]

U završnu montažu ulaze:

- Impeler – 1kom
- Razrezna pločica 132 – 1kom
- Lakirano kućište ventilatora
- Ostali montažni dijelovi potrebni za montažu ventilatora.

Tehnološki proces prikazan je u tablici 9.

Tablica 9. Tablica tehnološkog procesa montaže i isporuke ventilatora

Br.oper.	Naziv	V.O. [min:s]	RM	Naziv RM
0030	Montaža ventilatora	51	7143	Izrada komp. i montaža
0033	Štampanje natpisne pločice	1:37	828312	Izrada natpisnih pločica
0040	Elektroispitivanje ventilatora	10:01	7421	Elektroispitivanje VM
0050	Popravak ličenjem	12	7143	Izrada komp. i montaža
0060	Usluga pakiranja i vakumiranja	Nije definirano	Izlazno skladište	Izlazno skladište

4.2.3. Radna mjesta unutar KONČAR MES-a korištena za izradu ventilatora[24]

U ovom potpoglavlju dane su slike nekoliko najvažniji radnih mjesta koja se koriste prilikom izrade kućišta.

Stroj za savijanje(RM 81001), prikazan na slici 17., jedan je od strateški važnih strojeva tvrtke KONČAR MES, i služi za oblikovanje kućišta ventilatora na principu valjanja ploče lima.



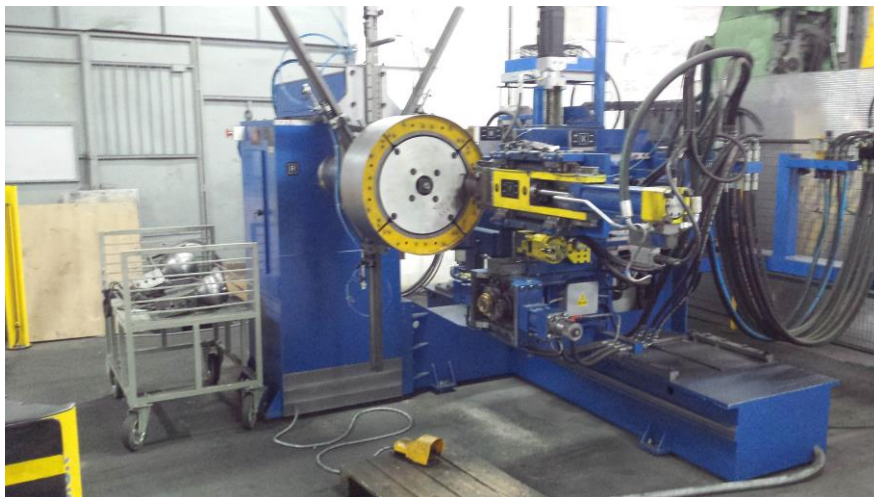
Slika 17. Stroj za savijanje kućišta

Stroj za zavarivanje kućišta (RM 81002), radi na način da se kućište lime stavi na crni nosač sa slike, kućište se digne na potrebnu visinu, nakon toga spoje se vrhovi savijenog lima te se zavaru ne spoju. Stroj za zavarivanje prikazan je na slici 18.



Slika 18. Stroj za zavarivanje kućišta

Jedan od strateški važnih strojeva je i stroj za formiranje i probijanje ispušne i usisne priрубnice (RM 81003). Na slici 19. prikazano je zavareno kućište ventilatora VAAZ C1000 WF koje je pripremljeno za formiranje ispušne priрубnice. Nakon toga kućište se okreće, te se formira usisna priрубnica.



Slika 19. Stroj za formiranje i probijanje ispušne i usisne priрубnice

Pjeskarilica tvrtke VESPA, služi za pjeskarenje dijelova impelera i za pjeskarenje kućišta nakon dolaska sa usluge cinčanja. Pjeskarilica je prikazana na slici 20.



Slika 20. Stroj za pjeskarenje kućišta i impelera

Na slici 21. prikazana je lakirnica. U lakirnicu ulaze sve pozicije ventilatora VAAZ C1000 WF.



Slika 21. Lakirnica

Na slici 22. prikazan je gotovi ventilator VAAZ C1000WF, koji se pakira na način koji je prikazan na slici 23. te se tako zapakirani šalju na isporuku kupcu.



Slika 22. Montirani ventilator VAAZ C1000



Slika 23. Slaganje i pakiranje ventilatora za isporuku

4.2.4. Montažno radno mjesto [25]

Montaža je zastupljena u svim ljudskim djelatnostima, od industrije (građevinarstvo, strojarstvo, elektronika, brodogradnja...), do kućanstva. U industriji, proces proizvodnje redovito završava sklapanjem.

Objekti sklapanja, ili ugradbeni elementi, jesu (pojedinačni) dijelovi, sklopovi i bezoblične tvari. Dijelove, prema predavanjima prof.dr.sc Zorana Kunice definiramo kao geometrijski određene tvorevine nastale obradom nekog materijala, iz jednoga komada, dok su sklopovi definirani kao geometrijski određene tvorevine sastavljene od najmanje dva ugradbena elementa. Kada govorimo o bezobličnim tvarima onda govorimo o plinovima, tekućinama, praškovima i granulatu. Odnosi između ugradbenih elemenata neke tvorevine ostvaruju se spojevima.

Završni sklop zapravo je gotovi proizvod.

Zadatak montaže je da se sustav (pojedinačnih) ugradbenih elemenata (nekog proizvoda) sklopi u sustav veće kompleksnosti određene namjene (proizvod), u određenom broju komada (proizvodnoj količini), u jedinici vremena (planiranom razdoblju).

Montaža je neizbježna u slučajevima [7]:

- a) ako se funkcija proizvoda ne može ostvariti jednim ugradbenim elementom;
- b) ako treba osigurati međusobnu pokretljivost ugradbenih elemenata;
- c) potrebe za ugradbenim elementima od različitih materijala;

- d) jeftinije izradbe dva ugradbena elementa umjesto jednoga;
- e) osiguranja zamjenjivosti, transporta i demontaže ugradbenih elemenata radi smanjivanja troškova ili održavanja proizvoda;
- f) posebnih zahtjeva na proizvod (naprimjer estetskih).

Ako se sastavni dijelovi ventilatora VAAZ C1000WF stave u kontekst gore navedenih definicija, onda se dijelovima mogu nazivati razrezna pločica, ploča vijenca, lopatica ventilatora, zaštitne rešetke, nosač ventilatora te pritezni vijenac, dok je imepeler sklop dijelova ploče vijenca, šest lopatica, jednog priteznog vijenca te ostalih montažnih dijelova. Završni sklop je gotovi ventilator VAAZ C1000 WF.

Kod montaže ventilatora VAAZ C1000 WF radi se o ručnom montažnom mjestu. Na završnu montažu ventilatora dolazi već ranije, ručno montirani i u tri sloja lakirani impeler, troslojno prelakirano kućište te razrezna pločica. Osim tri glavna dijela, u montaži su prisutni i ostali montažni dijelovi, standardni i nestandardni vijci, podloške raznih veličina, obujmice, samokočne matice te ljepilo Loctite.

Kućište se postavlja na posebno izrađeno postolje za montažu, te se postepeno, prema montažnom listu započinje motaža ventilatora. Prilikom montaže posebna se pažnja obraća na razmak između lopatica i samog kućišta ventilatora.

Ručna motaža ventilatora u tvrtki KONČAR MES prikazana je na slici 24.



Slika 24. Ručna montaža ventilatora VAAZ C1000 WF [20]

5. IZRADA SIMULACIJE POSTOJEĆE PROIZVODNJE

U ovom poglavlju biti će objašnjeno što je to simulacija, prikazati će se simulacija trenutnog proizvodnog procesa izrade ventilatora VAAZ C100WF. Biti će opisana svaka proizvodna linija zasebno, te će biti objašnjene funkcije i metode korištene prilikom izrade iste. Također, biti će prikazano postavljanje radnih smjena te svih ostalih parametara korištenih prilikom izrade simulacije.

5.1. Što je to simulacija? [26]

Simulacija je eksperimentalna metoda koja omogućuje proučavanje stvarnog procesa pomoću njegovog modela na računalu. Ova metoda se može upotrebljavati u najrazličitijim granama znanosti - od društvenih i prirodnih, pa sve do tehničkih. Simulacija svoj nastanak i razvoj može zahvaliti pojavi računala.

Osnovni koncept je sljedeći: stvarni sustav (postojeći ili još nepostojeći) opisuje se modelom. Stanje sustava predstavljeno je stanjem modela koje je određeno varijablama stanja. Model reprezentira sustav sa željenom razinom aproksimacije. Izrada modela naziva se modeliranje, a model se zadaje simulacijskim jezikom. Nakon što je izrađen model, pristupa se samom simuliranju koje se odvija izvođenjem posebnog programa - simulatora - na računalu. Rad simulatora je upravljan modelom. Izvođenjem simulacije dobivaju se različiti podatci koji se mogu upotrijebiti u razne svrhe.

Simulacija je metoda koja omogućuje veliku raznolikost i prilagodljivost u modeliranju te jednostavne naknadne izmjene u modelu. Na modelu se mogu provoditi eksperimenti neograničen broj puta, s istim ili promijenjenim parametrima. Pouzdanost dobivenih podataka ovisi o tome koliko je precizno izrađen model te o mogućnostima simulatora i simulacijskog jezika. U praksi je model izrađen uz neke aproksimacije i pojednostavljenja pa dobiveni rezultati mogu biti previše optimistički i idealni. Ako model na određenoj razini apstrakcije opisuje stvarni sustav u potpunosti, govori se o emulaciji. Emulacija zahtijeva detaljno opisivanje sustava, što je usporedivo s projektiranjem, ali je točnost postupka vrlo velika. Jedna od osnovnih slabosti je relativno mala brzina emulacije (ovisno o složenosti modela). Za složene sustave i izrada modela može oduzeti mnogo vremena.

5.2. Simulacija postojeće proizvodnje ventilatora VAAZ C1000WF

Simulacija postojeće proizvodnje radi se kako bi se dobio uvid u sve faze proizvodnje ventilatora te kako bi se na taj način dobila realna slika same proizvodnje. Simulacija nam omogućava pronalaženje uskih grla u proizvodnji, rješavanje pitanja istih te skraćanje rokova isporuke, a samim time i povećanje efikasnosti proizvodnje što automatski donosi i veći profit. Uz to, simulacija postojeće proizvodnje radi se kako bi se realni rezultati mogli usporediti za rezultatima dobivenima simulacijom različitih scenarija. Na taj se način može doskočiti neplaniranim poremećajima u proizvodnji, mogu se odrediti prednosti i mane postojećeg načina proizvodnje, ali i prepoznati prilika za investiranje u strojne, ljudske ili neke druge resurse.

5.2.1. Postavljanje ulaznih parametara simulacijskog modela

Prije postavljanja ulaznih parametara, važno je naglasiti koje su sve pretpostavke korištene prilikom izgradnje simulacijskog modela.

Pretpostavke korištene u ovim simulacijama su:

- Ako se dvije operacije odvijaju jedna iza druge na istom radnom mjestu, zbrojena su komadna vremena t_1 svake od operacija i pod trajanje operacije postavljen je zbroj komadnih vremena obiju operacija. Formula preka kojoj se računa komadno vrijeme dana je ispod.

$$t_1 = \frac{t_{pz}}{n_s} + (1 + K_p) \cdot (t_p + t_t)$$

t_1 ... ukupno komadno vrijeme [min]

t_{pz} ... pripremno-završno vrijeme [min]

n_s ... veličina serije [kom]

K_p ... koeficijent dodanog vremena

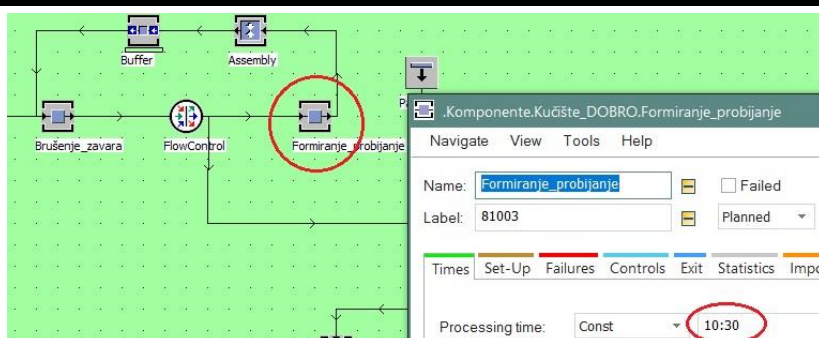
t_p ... pomoćno vrijeme [min]

t_t ... tehnološko vrijeme [min]

Vremena operacija prikazana su u Tablici 10. , a na slici 25. prikazano je ukupno vrijeme trajanja obiju operacija.

Tablica 10. Vremena trajanja pojedinih operacija

Operacija	Naziv operacije	Trajanje[min]	Radno mjesto
0040	Formiranje i probijanje ravne – ispušne prirubnice	4,5	81003
0050	Formiranje i probijanje usisne prirubnice	6	81003



Slika 25. Primjer unosa komadnog vremena u Tecnomatix ako se dvije operacije odvijaju jedna za drugom na istom radnom mjestu

- Svi strojevi, osim onih za koje je kasnije u poglavljima navedeno drugačije, postavljeni su na 90% dostupnosti⁶ i MTTR⁷ na trajanje od 1 sat. Postavljanje dostupnosti i MTTR-a prikazano je na slici 26.

The screenshot shows the configuration window for a failure component named 'Failure'. It includes fields for Start, Stop, Interval, and Duration. The 'Availability' is set to 90% and the 'MTTR' is set to 1:00:00:00. The 'Failure relates to' dropdown is set to 'SimulationTime'. Buttons for OK, Cancel, and Apply are at the bottom.

Slika 26. Postavljanje dostupnosti i MTTR-a za strojeve

⁶ Dostupnost–vrijeme raspoloživosti strojeva izraženo u postocima

⁷ MTTR– mean time to repair; prosječno vrijeme između dva kvara

Pretpostavke:

- Prilikom izrade simulacije nije uzet u obzir raspored strojeva unutar tvornice, zanemareni su transportni putevi i mogućnost da je sirovi materijal koji dolazi u tvornicu nezadovoljavajuće kvalitete.
- Radno vrijeme lakirnice postavljeno je na pola radnog vremena odnosno 4 sata dnevno s ciljem da se dobiju realniji rezultati proizvodnje. Naime, iz ERP sustava tvrtke KONČAR MES izvađena su vremena lakiranja na pojedine dijelove zadanog ventilatora. Proizlazi da se godišnje na lakiranje dijelova potrebnih za izradu ventilatora VAAZ C1000WF utroši između 450-550 sati, a ako se uzme da je ukupan broj godišnjih radnih sati u jednoj smjeni otprilike 1800h, dobije se da u lakirnici komadi provedu otprilike jednu trećinu vremena godišnje ili otprilike 3 sata dnevno. S obzirom na moguću pogrešku pri izračunu ukupnih radnih sati provedenih u lakirnici, te realnom situacijom da je ukupan broj radnih sati godišnje manji od 1800, odlučilo se radno vrijeme lakirnice postaviti na četiri sata.

Bitno je naglasiti da se rezultati simulacije mogu razlikovati od rezultata realnog procesa izrade, a razlozi toga mogu biti različiti. Nemogućnost definiranja ili dobivanja određenih podataka jedan su od glavnih razloga. Također, simulacijom je teško obuhvatiti sve moguće poremećaje koji su sastavni dio realne proizvodnje, npr. pogreške u izradi, kašnjenje dolaznog materijala, kašnjenje materijala s usluge...

Stoga, rezultati dobiveni simulacijama mogu se smatrati točnima, ako se u obzir uzmu ranije navedene pretpostavke i ograničenja.

Nakon navođenja pretpostavki moguće je definirati proizvodni proces i ulazne parametre za simulacijski model.

Trenutačna proizvodnja može se podijeliti u pet aktivnosti :

- Proizvodnja kućišta i slanje na uslugu vrućeg cinčanja
- Proizvodnja dijelova za impeler, skladištenje dijelova u kutiju i pranje
- Proizvodnja razrezne pločice i priprema za montažu
- Lakiranje svih dijelova za ventilator (kućište, impeler, i ostali sastavni dijelovi)
- Montaža ventilatora, elektroispitivanje ventilatora, dorada te isporuka kupcu.

Prije puštanja simulacije važno je definirati ulazne parametre. Parametru su zadani proizvoljno s obzirom na stvarnu godišnju proizvodnu količinu ventilatora VAAZ C1000 WF.

Za potrebe simulacije, isporuka će ići u serijama od dvadeset i četiri komada ventilatora.

Ulazni podaci su prikazani u tablici 11:

Tablica 11. Prikaz ulaznih količina u simulaciji postojeće proizvodnje

Ime sirovine /pozicije	Ulazne količine sirovina/pozicija [kom]
Kućište	650
Pritezni vijenac	650
Lopatice	3600
Ploča vijenca	600
Razrezna pločica	600

Na godišnjoj razini u KONČAR MESU proizvedu dvije stotine i osamdeset osam komada ventilatora VAAZ C1000 WF, dok je simulacija izbacila četiri stotine i osam komada, odnosno sedamnaest serija po dvadeset i četiri ventilatora. Nije neobično da se rezultati simulacije razlikuju od stvarnog broja komada, Na slici 27. , pod rubrikom „Throughput“(izlaz) prikazan je ukupni izlazni broj paleta.

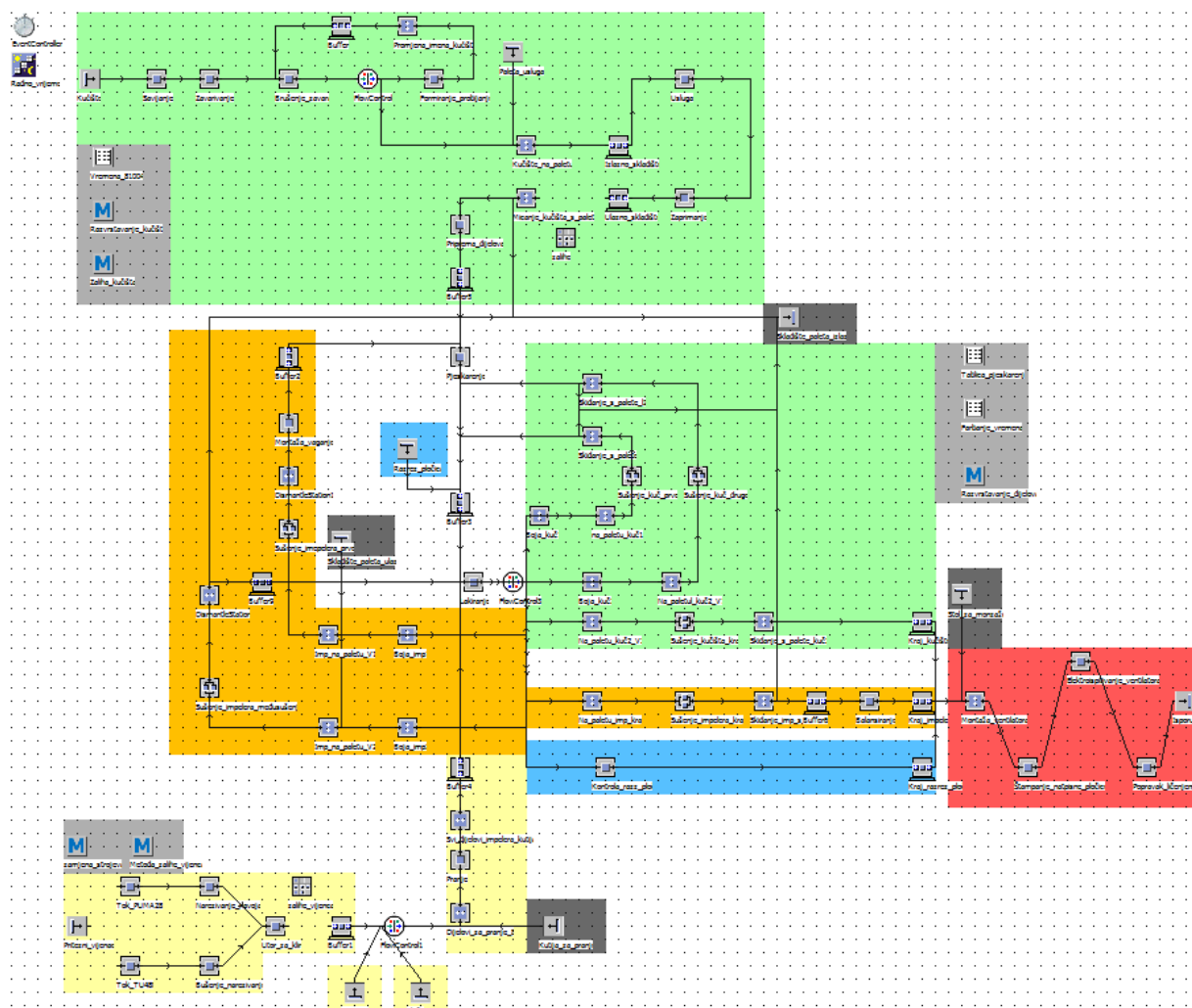
Simulation time: 365:00:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Isporka	Paleta	42:11:21:19.4118	17	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Slika 27. Ukupna izlazna količina na kraju simulacije postojeće proizvodnje

Proizvodnja unutar simulacije odvija na način koji je prikazan na slici 28.



Slika 28. Izgled procesa unutar Tecnomatixa

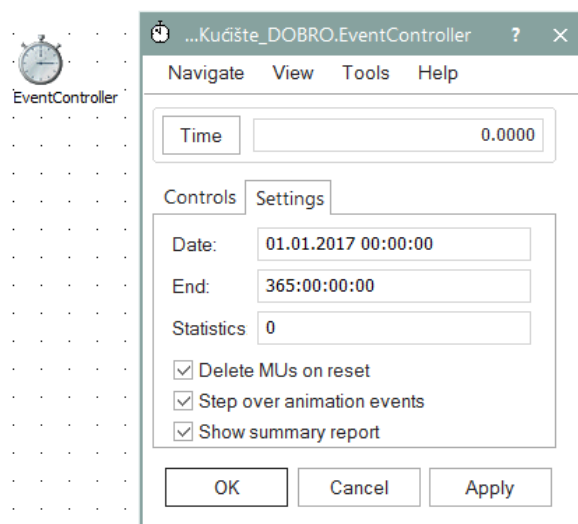
Svaki je dio proizvodnje, unutar Tecnomatixa, označen je drugom bojom analogno onima koje su prikazane na slici 16.

Unutar okvira svijetlo sive boje nalaze se tablice vremena i metode koje su korištene u određenom dijelu programa.

Tamno sivo označeni su izvori paleta na koje slažemo proizvode, te „izlazi“ paleta nakon korištenja.

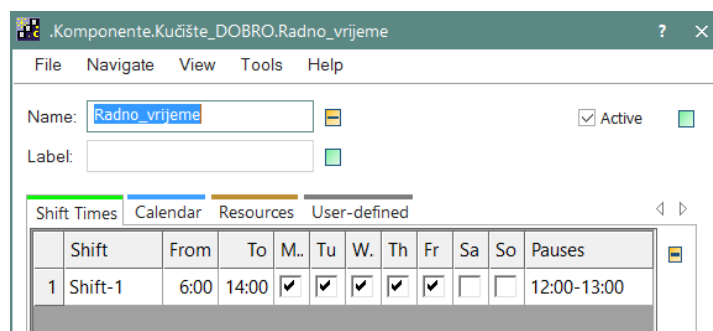
Bojom nisu označene operacije „Pjeskarenje“, „Lakiranje“, „Buffer3“ i „FlowControl3“, a razlog tomu je što kroz njih prolazi više različitih proizvoda, odnosno nisu specijalizirane za obradu samo jednog specifičnog proizvoda nego služe za obradu više njih.

Event Controller postavljen je na godinu dana, s početkom prvog dana u 2017. godini. Označena je točka „Delete MU's on reset“ koja omogućuje da se pritiskom na reset u event controlleru izbrišu sve pokretene jedinice (pozicije, palete, sklopovi...) korištene u simulaciji. Označena je i točka „Show summary report“ koja omogućuje prikazivanje izvješća na kraju simulacije. Slika 29. prikazuje namještanje postavki event controllera.



Slika 29. Namještanje postavki event controllera

Radno vrijeme postavljeno je na osam radnih sati u jednoj smjeni, sa dnevnom pauzom od jedan sat. U taj jedan sat ulazi trideset minuta koje su zakonom propisane za odmor radnika, te trideset minuta koje radnik dnevno provede negdje drugdje (npr. odlazak na wc, manja pauza itd.). Namještanje radnog vremena prikazano je na slici 30.



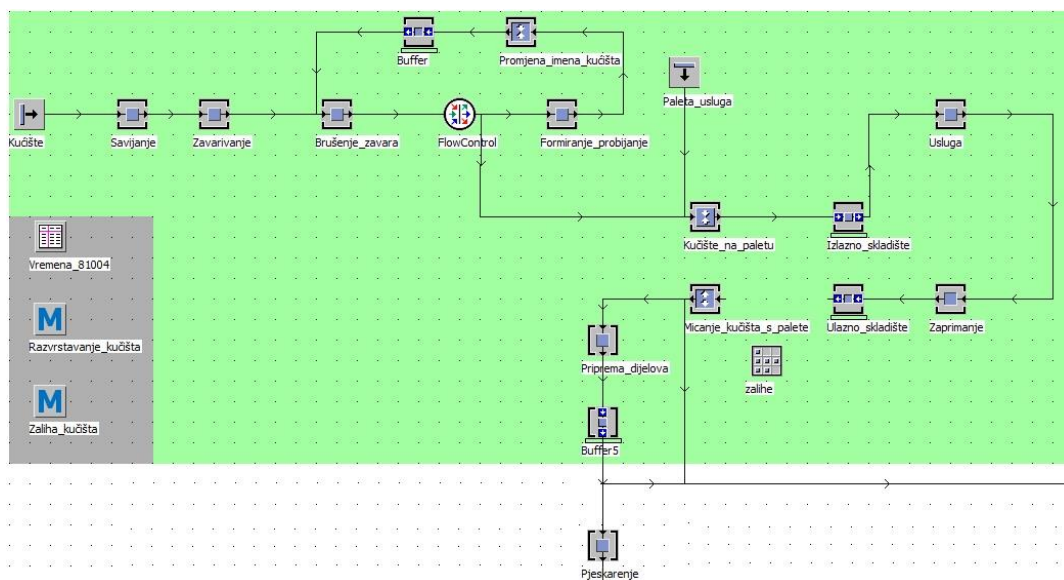
Slika 30. Namještanje radnog vremena

U idućim potpoglavljima detaljnije biti će opisan svaki dio proizvodnje.

5.2.2. *Proizvodnja kućišta i slanje na uslugu vrućeg cinčanja*

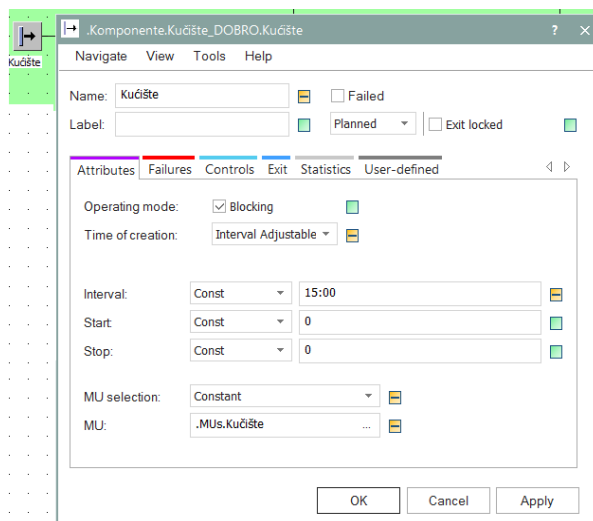
Kućište ventilatora izrađuje se prema tehnološkom procesu prikazanom u točki 4.2.2.1. , a može se podijeliti u dva dijela. Prvi dio odnosi se na sve operacije zaključno s pripremom dijelova, nakon toga kućište odlazi na pjeskarenje te na tri sloja lakiranja, a zatim u međuskladište gdje čeka na završnu montažu. U ovom potpoglavlju biti će opisan samo prvi dio proizvodnje, dok će drugi biti opisan malo kasnije u potpoglavlju 5.2.5. *Lakiranje svih dijelova za ventilator.*

Prvi dio proizvodnje ventilatora sastoji se od sedam operacija, zatim slanja četrdeset i osam ventilatora na uslugu vrućeg cinčanja, zaprimanja dijelova nakon cinčanja, raspakiravanja istih te pripreme dijelova za pjeskarenje.. **Prvi dio proizvodnje** kućišta ventilatora prikazan je na slici 31.



Slika 31. Prvi dio proizvodnje kućišta ventilatora VAAZ C1000WF

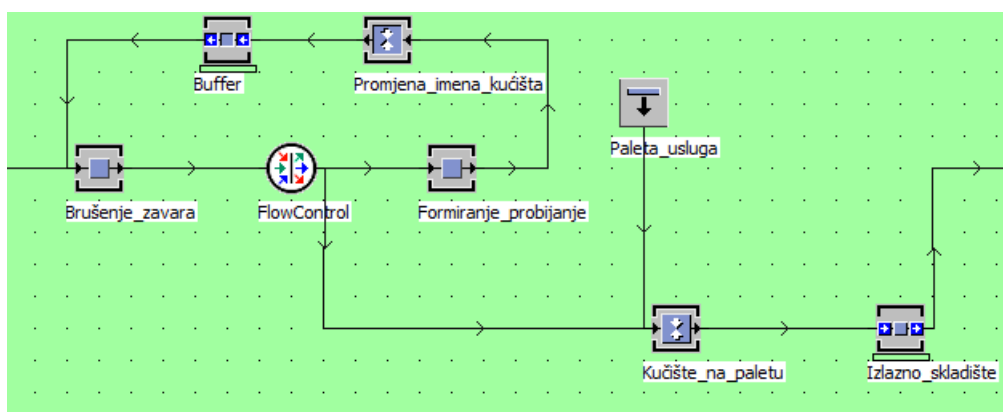
Ulazne postavke za izradu kućišta namještene su tako da svakih 15 minuta izbacuju novi sirovac koji zatim ide na operaciju savijanja. Ulazni komad nazvan je „*Kućište*“. Namještanje postavki je prikazano na slici 32.



Slika 32. Postavke ulaznih sirovaca za izradu kućišta

Nakon što je sirovac pušten u proizvodni proces, prolazi operacije savijanja i zavarivanja te dolazi do stroja 81004 na kojem se trebaju brusiti zavari koji se nalaze na mjestima formiranja prirubnice.

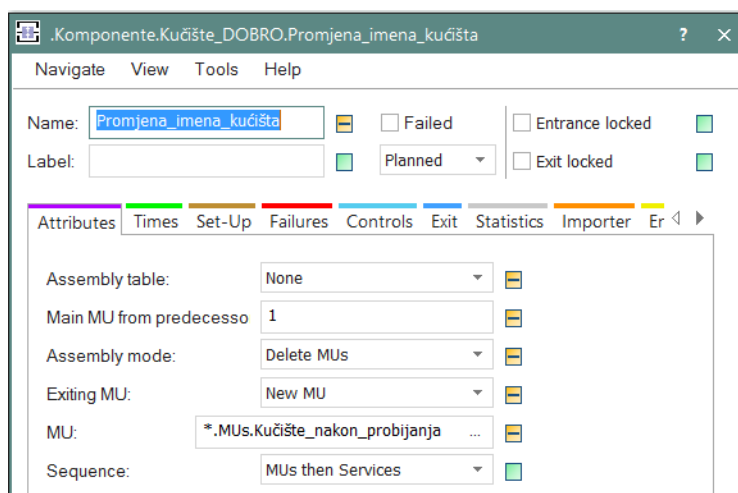
Na radnom mjestu 81004 (na slici je to operacija nazvana „*Brušenje_zavara*“) odvijaju se dvije različite operacije, brušenje zavara i bušenje bočnih rupa za prihvat mreže, a ne slijede jedna iza druge. Stoga, komadi se moraju vratiti povratnom vezom, prikazanom na slici 33., nazad na stroj 81004.



Slika 33. Vraćanje komada na jednu od prethodnih operacija

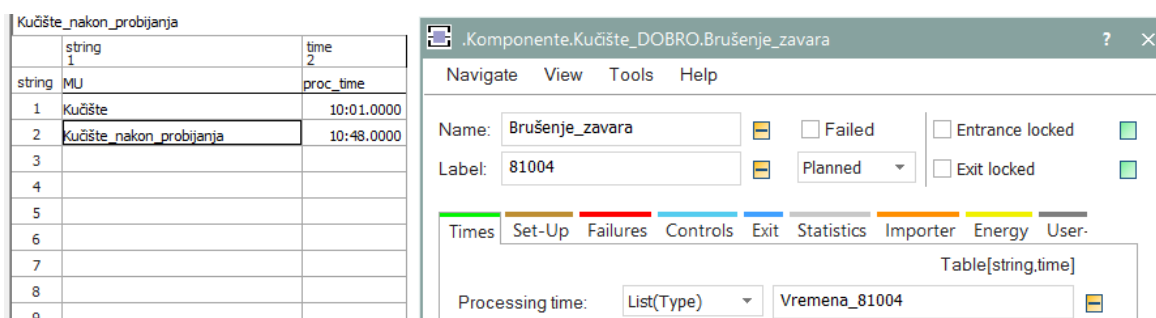
Na radnom mjestu nazvanom „*Brušenja zavara*“ potrebno je provesti dvije operacije sa različitim vremenima trajanja. Operacija brušenja zavara traje 10 minuta i 1 sekundu, a operacija bušenja bočnih rupa za prihvat mreže (u vrijeme trajanja bušenja bočnih rupa ulazi i

vrijeme operacije obrada bridova i rupa) traje 10 minuta i 48 sekundi. Da bi taj problem bio riješen morala je biti formirana tablica nazvana „*Vremena_81004*“ u kojoj su napisana vremena trajanja svake od operacije. Da bi se vremena obrade komad na stroju razlikovala, potrebno je promijeniti ime komada u softveru. Tako je u povratnu vezu sa slike 23. ubačeno radno mjesto „*Promjena_imena_kućišta*“. Naime, radno mjesto „*Promjena_imena_kućišta*“ ne služi ničemu doli promijeni imena komada „*Kućišta*“ u ime „*Kućište_nakon_probijanja*“, a sve s ciljem da radno mjesto „*Brušenje_zavara*“ ima mogućnost pozivanja drugačijih vremena obrade. Princip zamjene imena prikazan je na slici 34.



Slika 34. Promjena imena kućišta

Nakon formiranja tablice i promjene imena komada, postavljeno je da se *processing time*⁸ operacije „*Brušenje_zavara*“ poziva na listu „*Vremena_81004*“. Postavljanje je prikazano na slici 35.

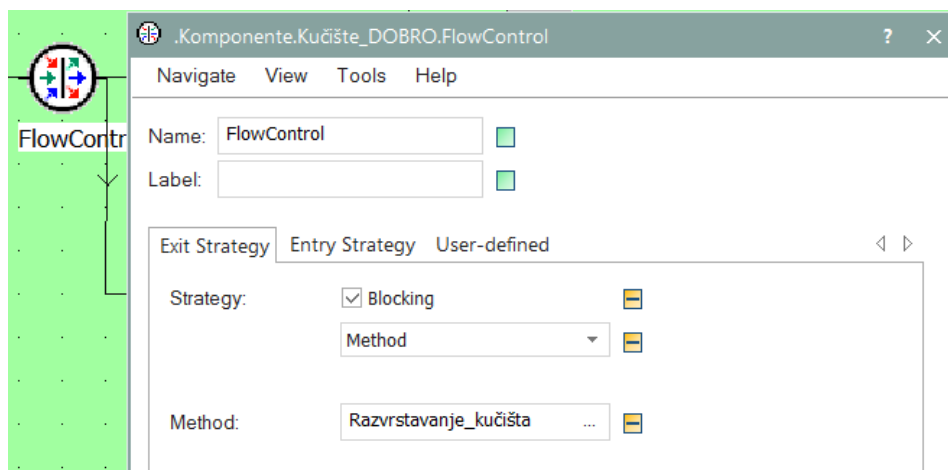


Slika 35. Postavljanje tablice s komadnim vremenima u rubriku processing time

⁸Processing time – vrijeme trajanja obrade komada na stroju; u ovom slučaju komadno vrijeme

"FlowControl" postavljen je između operacija „Brušenje_zavara“ i „Formiranje_probijanje“ kako bi se komadi mogli sortirati prema imenu na svoje slijedeće operacije. Naime, komad pod imenom „Kućište“ mora ići na operaciju „Formiranje_probijanje“, dok komad pod imenom „Kućište_nakon_probijanja“ mora ići na paletu kako bi se pripremio za uslugu vrućeg cinčanja.

Kako bi taj problem bio riješen u rubriku „Exit Strategy“ unutar "Flowcontrol"-a postavljena je metoda „Razvrstavanje_kućišta“. Postavljanje metode prikazano je na slici 36.



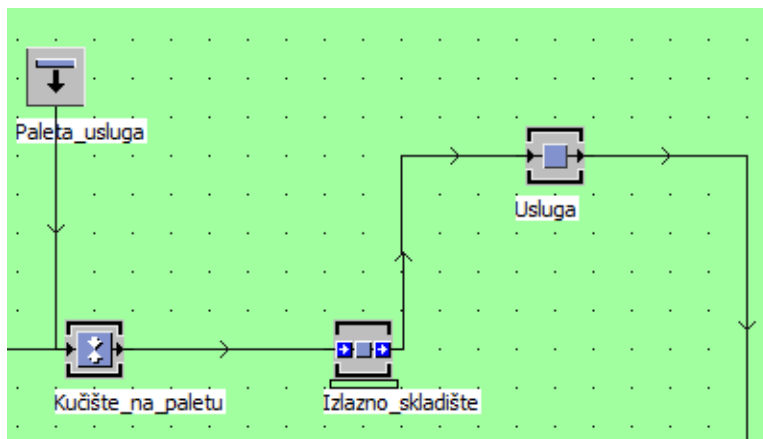
Slika 36. Postavljanje exit strategy u Flow control funkciji

Kod metode „Razvrstavanje_kućišta“ prikazan je na slici petljom 37.

```
(r: integer) : integer
is
do
  if @.name="Kućište" then
    return 1;
  elseif @.name="Kućište_nakon_probijanja" then
    return 2;
  end;
end;
```

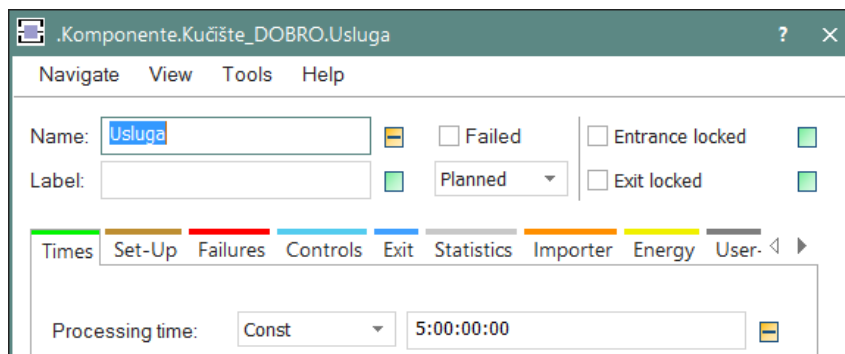
Slika 37. Metoda razvrstavanje_kućišta

Na uslugu vrućeg cinčanja šalju se serije od četrdeset i osam komada kućišta, odnosno četrdeset i osam kućišta pakira na paletu te se šalje na uslugu. Iako u stvarnosti ne postoji niti teoretska šansa da 48 ventilatora stane na paletu, radi jednostavnije simulacije, paleta predstavlja transportno sredstvo (šleper) koji je u stanju primiti i prevoziti svih četrdeset i osam komada. Prikaz pakiranja i slanja kućišta na uslugu dan je na slici 38.



Slika 38. Pakiranje i slanje kućišta na uslugu vrućeg cinčanja

Komadi se sa usluge vrućeg cinčanja vraćaju nakon pet dana, slika 39.



Slika 39. Trajanje usluge vrućeg cinčanja

U skladištu mora biti minimalno četrdeset i osam pocinčanih komada kućišta, jer to je količina koja zadovoljava izradu dviju serije ventilatora te se na taj način definirala zaliha. Da bi u skladište bio pohranjen potreban broj komada pod izlaznu strategiju operacije „Ulazno_Skladište“ postavljena je metoda „Zalihe_Kućišta“. Pozicija skladišta unutar simulacije prikazana je na slici 40. , a kod metode na slici 41.



Slika 40. Spremanje pocinčanih kućišta u skladište

```

is
do
  if zalihe.full then
    @.move(Pomicanje_kućišta_s_palette);
  else
    @.move(Zalihe);
  end;
end;

```

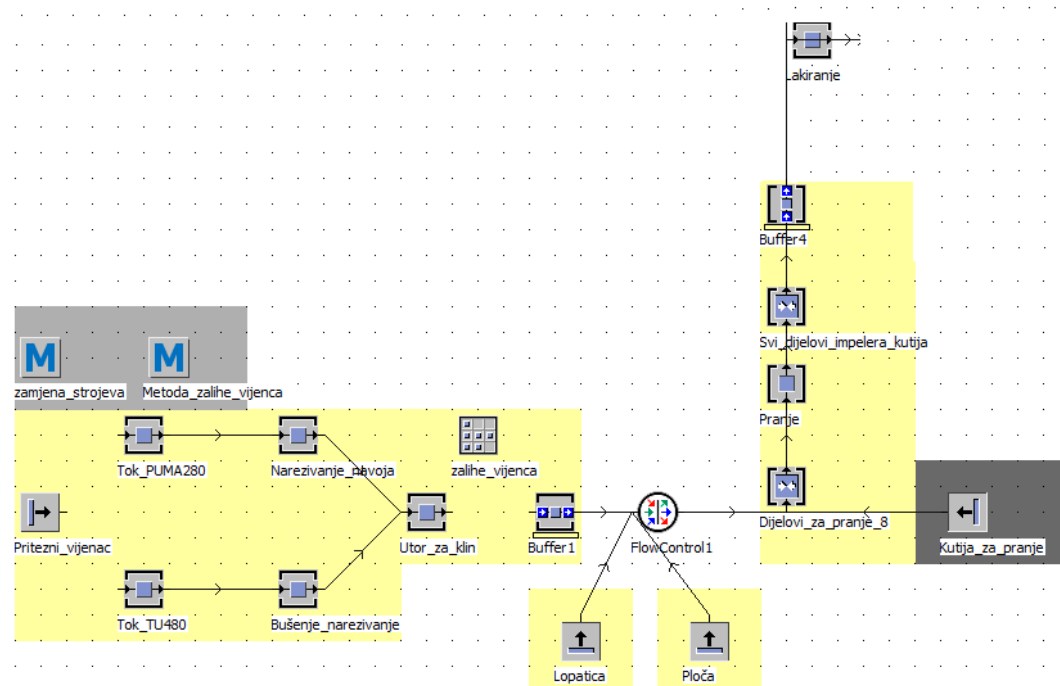
Slika 41. Metoda za punjenje skladišta

Nakon što se napuni skladište, kućišta se više ne spremaju u skladište nego se prebacuju na operaciju „*Pomicanja_kućišta_s_palette*“ koja služi za raspakiravanje kućišta s palete, a zatim kućište po kućište ide na pripremu dijelova za pjeskarenje. „*Buffer5*“ služi kao međuskladište za komade koji čekaju na operaciju pjeskarenja.

5.2.3. *Proizvodnja dijelova za impeler, skupljanje dijelova u kutiju i pranje*

Proizvodnju impelera također se može podijeliti u dva dijela. **Prvi dio** je proizvodnja i pranje svih pozicija za impeler, odnosno proizvodnja priteznog vijenca, te pranje priteznog vijenca, šest lopatica impelera i ploče vijenca. **Drugi dio** se odnosi na montažu, lakiranje i sušenje dijelova za impeler, te slanje u međuskladište gdje čeka na montažu..

U prvom dijelu proizvodnje, proizvodi se pozicija pritezni vijenac, dok su pozicije lopatica i ploče vijenca kupovne komponente koje odlaze na pranje te kasnije na lakiranje i montažu. Prikaz prvog dijela proizvodnje impelera dan je na slici 42.

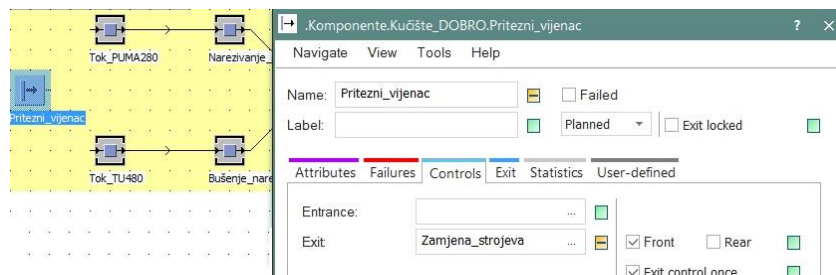


Slika 42. Prvi dio proizvodnje impelera

Pritezni vijenac se može izrađivati na **dva načina**. **Prvi način** uključuje tokarenje na CNC tokarilici Puma 280, te kasnije narezivanje navoja na običnoj bušilici, dok **drugi način** uključuje izradu na CNC tokarilici TU480 te kasnije bušenje rupa i narezivanje navoja na CNC glodalici HAAS VF-3. Nakon narezivanja navoja, komad ide na Ravensburgovu vertikalnu blanjalicu na kojoj se izrađuje utor za klin. Prvih pedeset komada priteznog vijenca odlazi u skladište „zalihe_vijenaca“, a zatim svaki idući komad ide u kutiju za pranje te se, zajedno sa šest lopatica i jednom poločom za vijence, šalje na pranje.

Prvi način proizvodnje je primaran, i po njemu se proizvodnja odvija svakodnevno, tek u slučaju kvara CNC tokarilice Puma 280 ili zadane bušilice proizvodnja se prebacuje na liniju CNC tokarilice TU480.

Da bi se proizvodnja u simulaciji mogla odvijati na gore opisani način napisan je kod koji omogućava usmjeravanje komada priteznog vijenca na onaj stroj koji je u tom trenu osposobljen za rad. Metoda je nazvana „Zamjena_strojeva“ i postavljena je pod „Controls“, rubrika exit, unutar izvora „Pritezni_vijenac“. Postavljanje metode prikazano je na slici 43. , a kod metode na slici 44.



Slika 43. Postavljanje metode Zamjena_strojeva

```

is
do
  if Tok_PUMA280.operational=false or Narezivanje_navoja.operational=false then
    @.move(.Komponente.Kučište_DOBRO.Tok_TU480);
  else
    @.move(.Komponente.Kučište_DOBRO.Tok_PUMA280);
  end;
end;

```

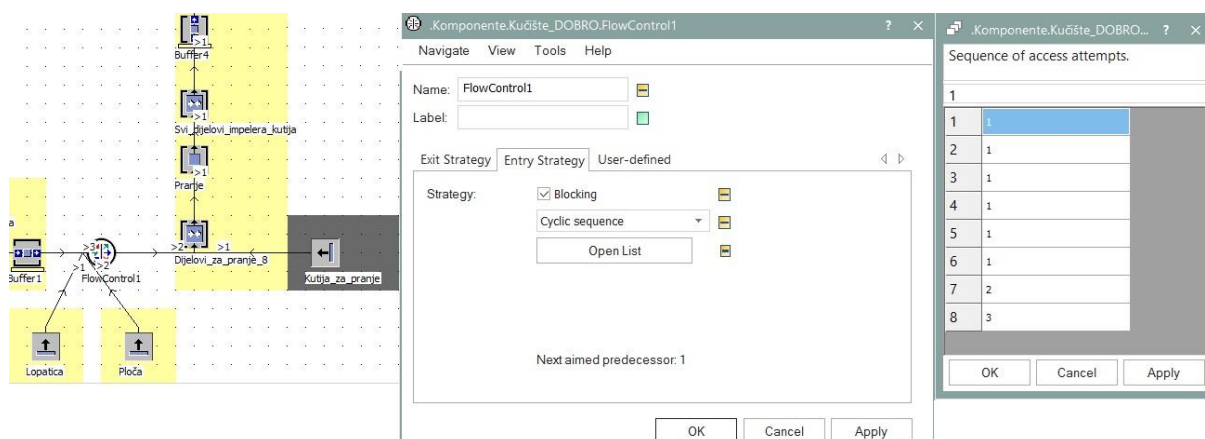
Slika 44. Kod metode Zamjena_strojeva

U slučaju kvara oba dvije tokarilice ne postoji alternativni način za proizvodnju priteznih vijenaca, te proizvodnja u tom slučaju stoji.

Nakon strojne obrade komade treba oprati. Iako u stvarnosti na pranje odlaze serije pojedinih pozicija, radi jednostavnosti izrade simulacije odlučeno je na pranje slati paket dijelova koji se sastoji od jednog priteznog vijenca, šest lopatica impelera te jedne ploče vijenca. Tih osam pozicija, prema tehnološkom listu, u paketu odlaze na lakiranje te se kasnije montiraju i zajedno čine impeler. Vremena pranja su jednaka za sve dijelova i dijelovi se peru u istoj tekućini stoga se moglo napraviti takvu preinaku.

Takav način pranja omogućen je preko „FlowControl“ operacije. Kao ulazna strategija postavljena je opcija „Cyclic sequence“ koja omogućava propusnost onih komada koji su definirani u tablici. Na taj način postavljeno je da sa „predecessor1“⁹ dolazi šest istih pozicija, odnosno šest lopatica impelera, a sa „predecessor 2 i 3“ po jedna pozicija odnosno jedan pritezni vijenac i jedna ploča vijenca. Slika 45. prikazuje namještanje ulazne strategije „FlowControl“.

⁹ predecessor – prethodnik; u ovom slučaju označava prethodnu operaciju



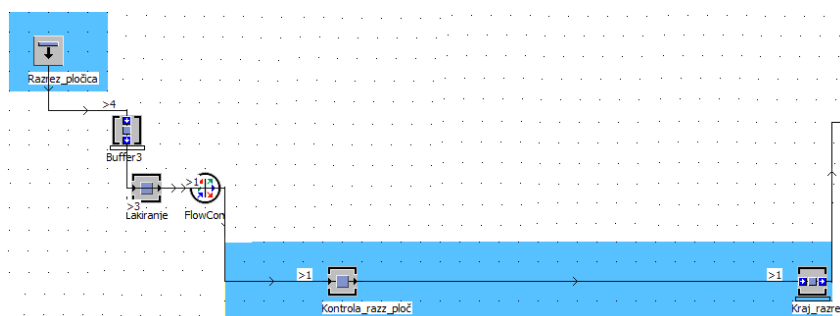
Slika 45. Puštanje određenih komada na iduću operaciju preko FlowControla

Zadanih osam komada skuplja se u kutiju, te se šalju na pranje, a nakon toga prolaze kroz operaciju „Svi_dijelovi_impelera_kutija“ u kojoj tih osam dijelova bude zamjenjeno za jedan sklop nazvan „Osam_dijelova_u_jedan“ te se tako u paketu šalju na lakiranje. To je moguće napraviti jer su vremena lakiranja u tehnološkom listu zadana za paket koji se sastoji od tih istih osam dijelova. Princip zamjene osam pozicija za jedan paket nazvan „Osam_dijelova_u_jedan“ je identičan kao na slici 34.

„Buffer4“ služi kao međuskladište za pakete dijelova koji čekaju na lakiranje.

5.2.4. *Proizvodnja razrezne pločice i priprema za montažu*

Proizvodnja rezreznice pločice je najjednostavnija. Pločica dođe izrezana u skladište, treba ju samo prelakirati u jednom sloju, prekontrolirati i spremna je za montažu. Proces izrade razrezne pločice prikazan je na slici 46.

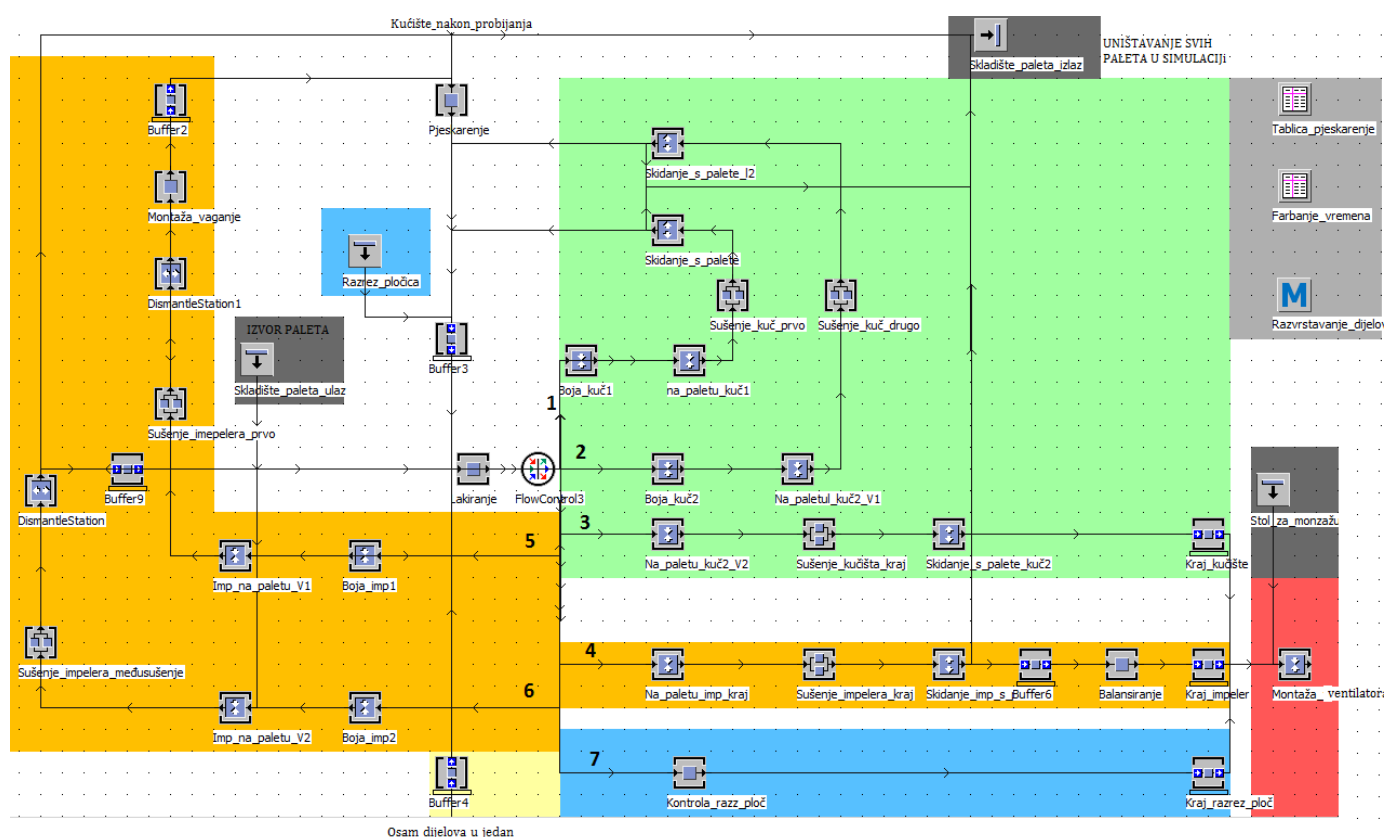


Slika 46. Proces izrade razrezne pločice

5.2.5. *Lakiranje svih dijelova za ventilator*

Na lakiranje odlaze sve pozicije od kojih se ventilator sastoji. Impeler i kućište lakiraju se u tri sloja, dok se razrezna pločica lakira u samo jednom sloju. Između slojeva lakiranja, potrebna su sušenja komada. Sušenje nakon prvog i drugog sloja, kod svih proizvoda, traje šest sati, dok završno sušenje svih komada traje dvadeset i četiri sata.

Nakon troslojnog lakiranja i završnog sušenja komadi su spremni za montažu. Na slici 47. prikazan je proces lakiranja i sušenja pozicija i sklopova.



Slika 47. Prikaz procesa lakiranja i sušenja komada

Kako u lakirnicu dolaze različite pozicije i sklopovi, a vremena lakiranja razlikuju se za svaku poziciju i sklop, potrebno je napraviti tablicu s vremenima lakiranja. Nakon svakog sloja lakiranja određenoj poziciji ili sklopu promijenio sam ime kako bi im mogao pridružiti i druga vremena lakiranja. Npr. „*Kućište_nakon_probijanja*“, „*Kućište_l1*“ i „*Kućište_l2*“ su zapravo identični komadi, samo im se razlikuju vremena lakiranja. Stoga im se ime moralo promijeniti prije svakog novog sloja lakiranja (isto vrijedi za „*Osam dijelova u jedan*“ ,

„Sve_za_1_impeler_1“ i „Sve_za_1_impeler_2“, to je sve jedan imepeler samo u različitim fazama izrade). Promjenu imena pozicija i sklopova radio sam na radnim mjestima „Boja_kuč1“ , „Boja_kuč2“, „Boja_imp1“ i „Boja_imp2“ po principu prikazanom na slici 34.

Vremena lakiranja su prikazana na slici 48.

Kučšte_nakon_probijanja		
	string 1	time 2
string	MU type	Time
1	Kučšte_nakon_probijanja	28:36.0000
2	Kučšte_I1	9:52.0000
3	Kučšte_I2	28:36.0000
4	Razrez_plocica	2:00.0000
5	Osam_dijelova_u_jedan	7:48.0000
6	Sve_za_1_impeler1	6:18.0000
7	Sve_za_1_impeler2	5:06.0000

Slika 48. Vremena lakiranja

Također, svaka pozicija ili sklop nakon lakiranja morala je biti preusmjerena na neko drugo radno mjesto. Stoga sam morao napraviti metodu „Razvrstavanje_dijelova“ koja omogućuje da se pozicija/sklop šalje na različita radna mjesta, u ovisnosti o imenu pozicije ili sklopa. Na taj je način „Kučšte_nakon_probijanja“ poslano na operaciju „Boja_kuč1“, „Kučšte_I1“ na operaciju „Boja_kuč2“ itd.

Na slici 47. upisani su brojevi puteva na koje se slalo komade prema metodi „Razvrstavanje_dijelova“ prikazanoj na slici 49.

```

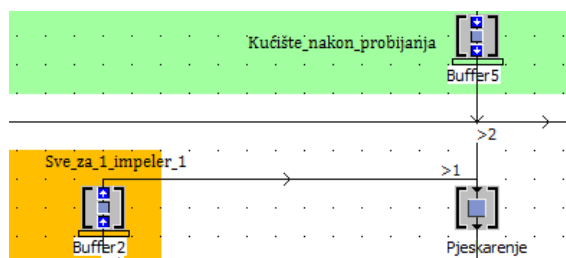
(r: integer) : integer
is
do
if @.name="Kućište_nakon_probijanja" then
return 1;
elseif @.name="Kućište_l1" then
return 2;
elseif @.name="Kućište_l2" then
return 3;
elseif @.name="Osam_dijelova_u_jedan" then
return 5;
elseif @.name="Sve_za_1_impeler1" then
return 6;
elseif @.name="Sve_za_1_impeler2" then
return 4;
elseif @.name="Razrez_plocica" then
return 7;
end;
end;

```

Slika 49. Metoda „Razvrstavanje_dijelova“

5.2.5.1. Pjeskarenje kućišta i impelera

Pjeskarenje je potrebno odraditi prije prvog sloja lakiranja kućišta („Kućište_nakon_probijanja“) te nakon montaže impelera, odnosno nakon što je paket dijelova „Osam_dijelova_u_jedan“ prvi put lakiran i osušen i preimenovan u „Sve_za_1_impeler_1“. Kako dva različita proizvoda ulaze u pjeskarilicu, potrebno je formirati tablicu vremena „Tablica_pjeskarenje“ te ju postaviti pod „Processing time“ operacije „Pjeskarenje“. Slike 50. i 51. prikazuju operaciju pjeskarenja te vremena utrošena na pjeskarenje.



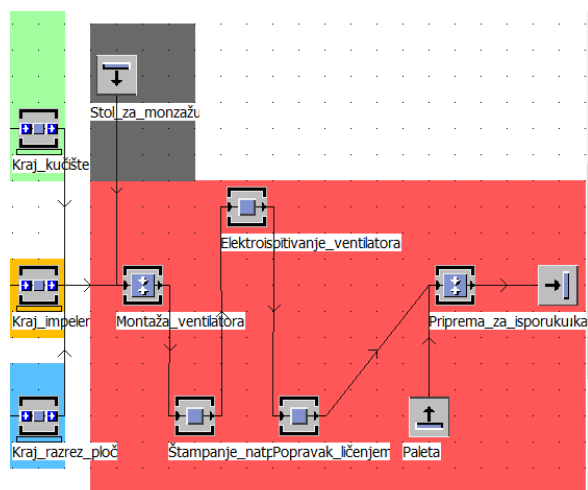
Slika 50. Prikaz operacije pjeskarenja u simulaciji

Sve_za_1_impeler1		
	string	time
string	MU type	Time
1	Sve_za_1_impeler	10:12.0000
2	Kućište_nakon_pro	28:48.0000

Slika 51. Vremena pjeskarenja

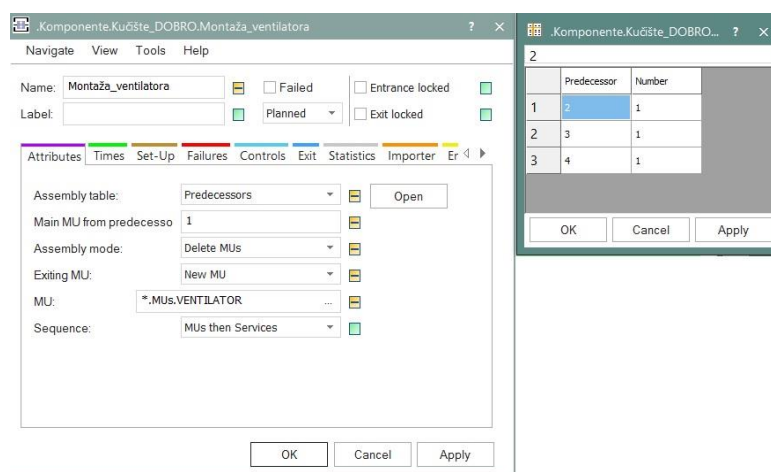
5.2.6. Montaža ventilatora, elektroispitivanje ventilatora, dorada te isporuka kupcu

U završnu montažu dolazi jedan komad razrezne pločice, jedno kućište ventilatora te jedan impeler. Uz njih dolaze i ostali montažni dijelovi kao što su vijci, matice, podloške, obujmice i ljepilo. Na slici 52. prikazan je završni dio proizvodnje ventilatora.



Slika 52. Završna faza proizvodnje ventilatora

Da bi u završnu montažu ušlo točno jedno kućište, jedan impeler i jedna razrezna pločica treba namjestiti „predecessore“ u operaciji „Montaža_ventilatora“. Postavke su namještene kako je prikazano na slici 53.

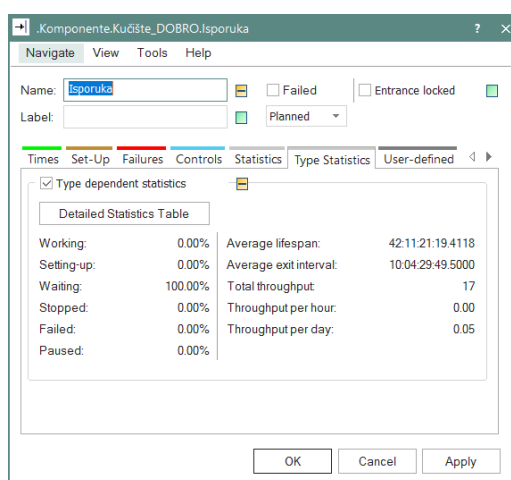


Slika 53. Postavke operacije „Montaže_ventilatora“

Nakon operacije „Popravak_ličenjem“, na paletu se pakira po dvadeset i četiri komada ventilatora te se šalje na isporuku kupcu.

5.2.7. Analiza rezultata dobivenih iz simulacije postojećeg stanja proizvodnje

Nakon pokretanja simulacije dobiveni su rezultati. U godinu dana, prema trenutnom načinu proizvodnje, i s gore navedenim pretpostavkama proizlazi nešto veća količina nego što je realna situacija. Iz slike 54. vidljivo je da na kraju kao isporuka kupcu odlaze 408 komada, odnosno 17 serija. Razlog zbog kojeg u simulaciji dobivam više isporučenih komada u odnosu na stvarnu brojku leži u tome što je simulacija rađena na način da su zadni ulazni podaci, a proizvodnja teče po principu maksimalne moguće izradbene količine. Dodatno, činjenica je da simulacijom nisu obuhvaćeni svi poremećaji kojima jedan proizvodni sustav može biti izložen te i to ide u prilog različitosti rezultata stvarne i simulirane proizvodnje.



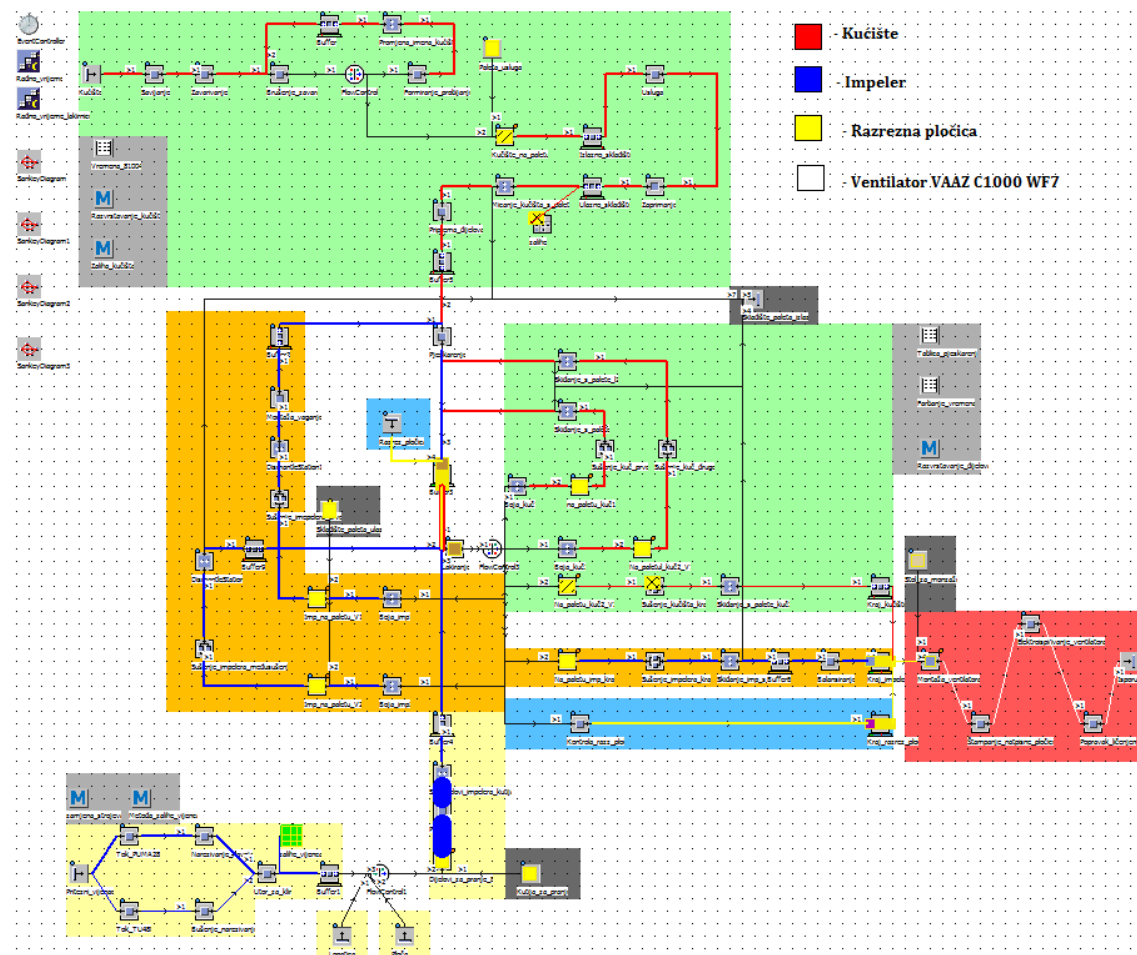
Slika 54. Trenutna godišnja količina proizvedenih ventilatora

Trenutačno stanje proizvodnje je vrlo ograničeno, a razlog tomu je taj što su apsolutno svi strojevi od strateške važnosti, stoga se ti strojevi smatraju uskim grlima proizvodnje. To znači da ne postoje alternative u slučaju kvara jednog od strojeva, a to je za samu proizvodnju velik problem. Uzmimo u obzir da je simulirana proizvodnja samo jednog ventilatora, pa problematika nepostojanja alternativnih strojeva nije od tolike važnosti. No, kada bi uzeo cijelokupni proizvodni asortiman, problemi bi postali itekako vidljivi. Zastoj u slučaju kvara jednog od strojeva utjecao bi na rokove isporuke čitavog asortimana proizvoda.

Potvrdu ranije navedenih činjenica daje i *Sankeyev dijagram* na slici 55. Sankeyev dijagram pokazuje tok materijala unutar proizvodnog procesa, što je linija deblja to je veći tok materijala između strojeva. Vidljivo je da je proizvodnja svih dijelova odvojena, znači da je kućište rađeno na skroz drugim strojevima u odnosu na pritezni vijenac ili razreznu pločicu. Također, vidljivo je da je najintenzivniji tok materijala između lakirnice i međuskladišta (na

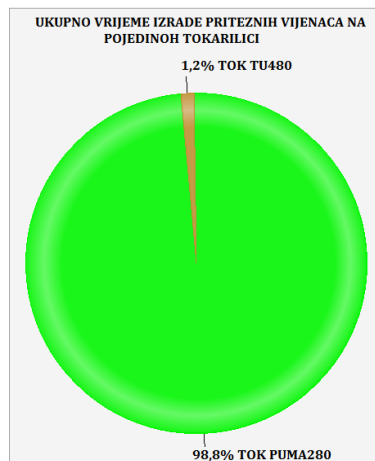
slici je to linija crveno žute boje), što je i bilo za očekivat s obzirom da se svaki komad lakira u čak tri sloja.

Također, tok materijala je intenzivan i prije i poslije pranja dijelova za imepeler, a razlog tomu je što se čak osam dijelova istovremeno prevozi s jedne operacije na drugu.



Slika 55. Sankeyev dijagram trenutnog stanja

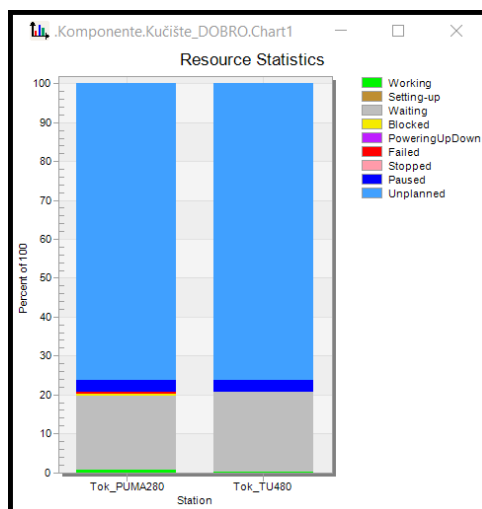
Jedini proizvod koji ima alternativu u slučaju kvara jednog od strojeva, što je vidljivo i iz *Sankeyevog dijagrama*, je pritezni vijenac koji se može izrađivati na dva različita načina. Prioritet ima tokarilica PUMA 280, a u slučaju njegov kvara proizvodnja se seli na TU480. U takvom odnosu prioriteta, i s obzirom na vrlo visoku dostupnost strojeva kroz godinu dana, odnosno vrlo malu pojavu kvara strojeva, proizlazi da se 98,8% priteznih vijenaca proizvede na liniji sa tokarilici PUMA 280, a tek 1,2% na liniji sa tokarilicom TU480, dijagram je prikazan na slici 56.



Slika 56. Odnos broja priteznih vijenaca izrađenih na različitim tokarilicama izražen u postocima

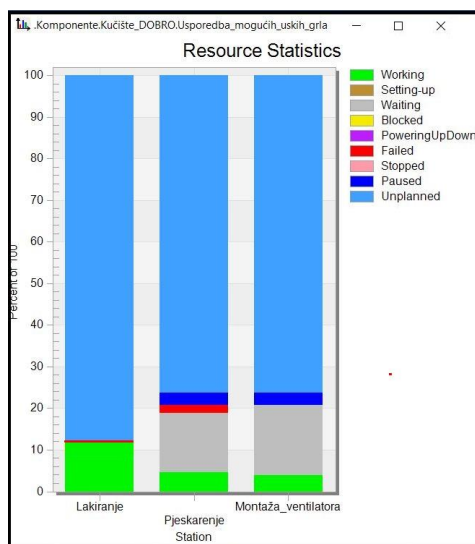
Iz dijagrama na slici 57. vidljivo je da godišnje strojevi maksimalno mogu raditi oko 24% vremena. To proizlazi iz činjenice da je radno vrijeme namješteno od ponedjeljka do petak, na osam radnih sati dnevno. Od tih 24% svega se otprilike 1% vremena troši na izradu priteznog vijenca, a od tih 1% čak 0,9% vremena proizvodi se na tokarilici PUMA280, a ostatak od otprilike 0,1% vremena izrađuje se na tokarilici TU480. Godišnje tokarilica PUMA280 u kvaru provede svega 0,51% vremena.

Obje tokarilice godišnje provedu otprilike 20% vremena na čekanju komada za obradu. To vrijeme čekanja u prikazanoj simulaciji izgleda neiskorišteno, ali u realnom poduzeću bilo bi iskorišteno za proizvodnju neki drugih pozicija. Rezultati su grafički prikazani na slici 47.



Slika 57. Grafički prikaz zauzetosti tokarilica PUMA280 i TU480 na godišnjoj razini

Kao potencijalna uska grla u procesu označeni su lakirnica, pjeskarilica i monaža ventilatora. Analizom ta tri procesa proizlazi da je jedino usko grlo lakirnica. Grafički prikaz zauzetosti strojeva dan je na slici 58.



Slika 58. Grafički prikaz zauzetosti strojeva koji su označeni kao potencijalna uska grla postojeće proizvodnje

Kao što je vidljivo sa slike 48. lakirnica radi cijelo vrijeme, osim ono malo vremena kada je u kvaru. To je bilo i za očekivat s obzirom da lakira gotovo sve pozicije i sklopove u tri sloja, a radi na samo pola radnog vremena (objašnjenje pola radnog vremena dano je u pretpostavkama u poglavlju 5.2.1.).

6. SIMULACIJA RAZNIH SCENARIJA

U ovom poglavlju biti će simulirana i analizirana dva različita realna scenarija. Za svaki scenarij biti će navedena ograničenja, te će se dati moguća poboljšanja sustava.

6.1. Scenarij 1 – Naglo povećanje naručene količine


- **Scenarij:**

Trenutno tvrtka, u dogovoru s kupcem, mora isporučivati dvadeset i četiri komada ventilatora u roku od dvadeset i pet dana. Proizvodna linija je napravljena tako da zadovoljava isporuku od dvadeset i četiri ventilatora i dosada je kupac bio zadovoljan. Ali, kupac je naglo zatražio narudžbu tri puta veću od uobičajene uz isti rok isporuke.

- **Rezultati dobiveni iz postojećeg načina proizvodnje:**

Prema trenutnoj situaciji, za proizvodnju dvadeset i četiri komada tvrtki treba dvadeset i pet dana. Na slici 59. prikazano je ukupno vrijeme izrade dobiveno iz simulacije postojeće proizvodnje. Izlazna količina izražena je brojem paleta, a na paleti se nalaze dvadeset i četiri ventilatora.

Simulation time: 25:00:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted									
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Isporuka	Vent	24:13:36:51.0000	1	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Slika 59. „Scenarij1“-vrijeme isporuke 24 ventilatora prema postojećoj proizvodnje

Na postojećoj liniji najveći problem proizlazi iz činjenice da postoji vanjska usluga vrućeg cinčanja. Naime, u slučaju da kasni pošiljka ventilatora koji trebaju doći sa usluge automatski će kasniti i isporuka kupcu. Unatoč tomu, rješenje ovakvog scenarija trebalo bi tražiti unutar proizvodnog sustava jer je jeftinije i jednostavnije dodati stroj ili otvoriti novo radno mjesto u već postojećoj proizvodnji nego investirati u vlastito postrojenje za cinčanje.

Nakon dobivenih rezultata za seriju od 24 ventilatora, ponovno su namješteni ulazni parametri na točno one vrijednosti koje zadovoljavaju količinu od 72 ventilatora. Odnosno,

postavljene su ulazne količine pozicija „Kućište“, „Pritezni_vijenac“, „Razrezna_pločica“ i „Ploča vijenca“ na 72 komada, a poziciju „Lopatica“ na 432 komada.

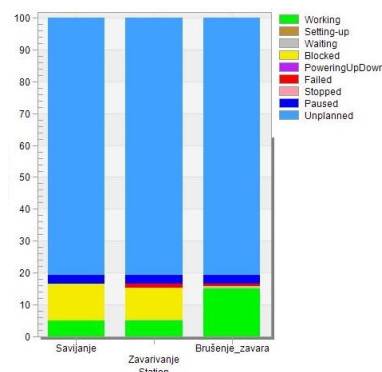
Puštena je simulacija i rezultati pokazuju da isporuku nije moguće postići na vrijeme ako će se proizvoditi prema postojećem načinu proizvodnje. Rezultati su prikazani na slici 60.

Simulation time: 25:00:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted									
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Skladište_paleta_izlaz	Paleta	10:12:53:03.5543	15	0	90.66%	0.00%	9.34%	25.43%	

Slika 60. „Scenarij1“ Broj izlaznih komada nakon povećanja ulaznih parametara u postojećoj proizvodnji

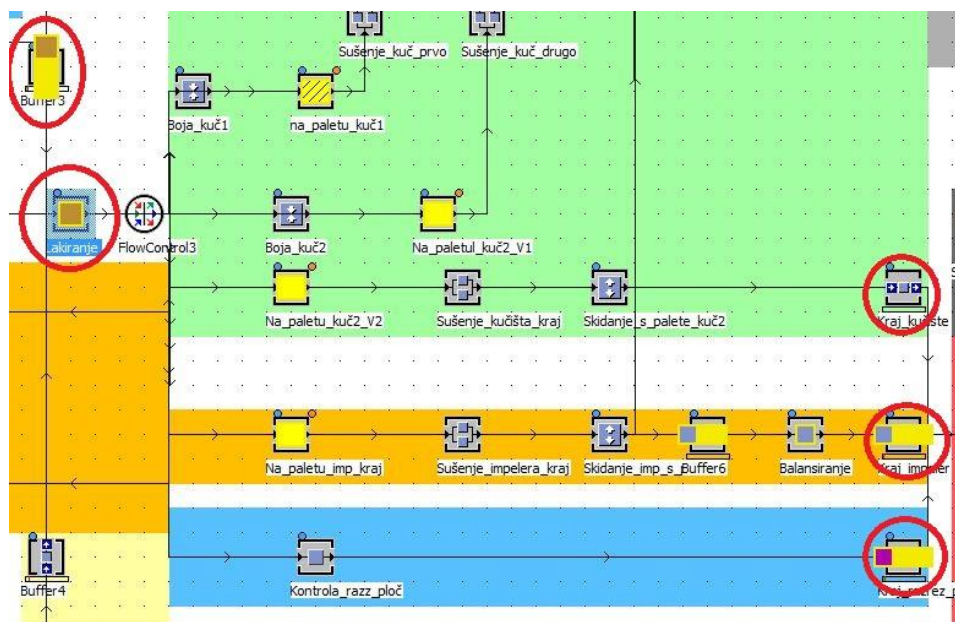
Prateći dijagrame zauzetosti strojeve za vrijeme trajanja simulacije, uočeno je da najveći problem nastaje na liniji za izradu kućišta. Dolazi do zagušenja na stroju 81004 operacija „Brušenje_zavara“. Samim time su operacije savijanja i zavarivanja većinu vremena blokirane i čekaju da se stroj 81004 oslobodi. Slika 61. Prikazuje zauzetost strojeva za vrijeme izrade kućišta.



Slika 61. „Scenarij1“ Zauzetost strojeva za izradu kućišta

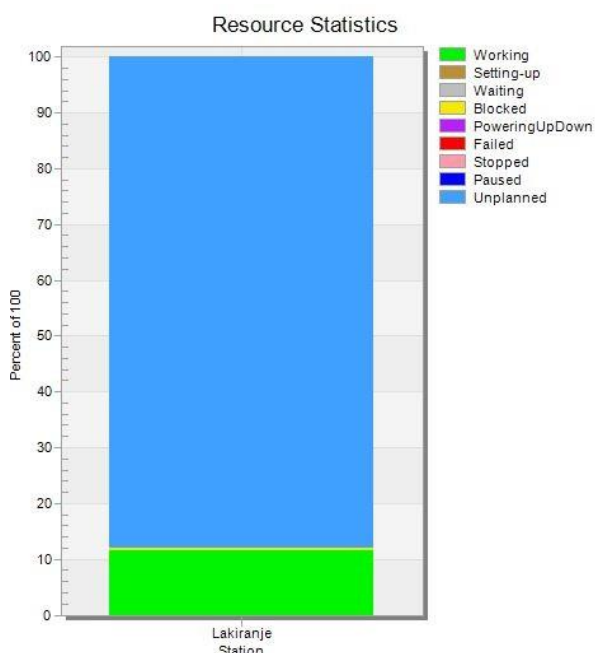
Osim zagušenja na liniji za izradu kućišta, problemi se javljaju i kod lakirnice. Naime, gotovo je nemoguće izbalansirati proizvodnju s obzirom na to da kućišta odlaze pet dana na uslugu cinčanja. Dok su kućišta na cinčanju izrada dijelova za impeler i razrenih pločica je gotova te odlaze u međuskladište „Buffer3“ i tamo čekaju na lakiranje. Kada kućišta dođu sa cinčanja i nakon što prođu pjeskarenje, ulaze u međuskladište te također čekaju na red za lakiranje u međuskladištu „Buffer3“. Situacija na kraju proizvodnje je takva da su

međuskladišta impelera i razrenih pločica puna, a kućišta su praktički tek počela sa lakiranjem. Stanje na kraju simulacije „*Scenarij1*“ prikazano je na slici 62.



Slika 62. „*Scenarij1*“ Stanje na kraju probne simulacije

Ako se prati zauzetost lakirnice, iz dijagrama na slici 63. vidljivo je da je lakirnica maksimalno iskorištena, odnosno da njeni trenutni kapaciteti ne mogu zadovoljiti rok isporuke.



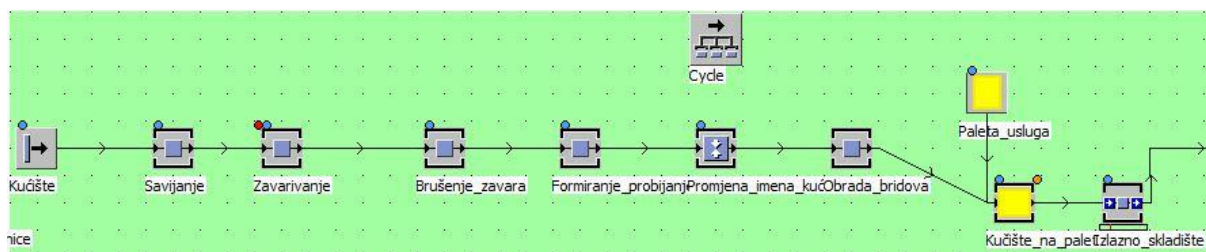
Slika 63. „*Scenarij1*“ Zauzetost lakirnice u postojećem stanju proizvodnje

- **Poboljšanje proizvodnje:**

Kako bi tvrtka bila u mogućnosti isporučiti 72 komada za 25 dana morale su biti napravljene neke preinake u samom proizvodnom procesu:

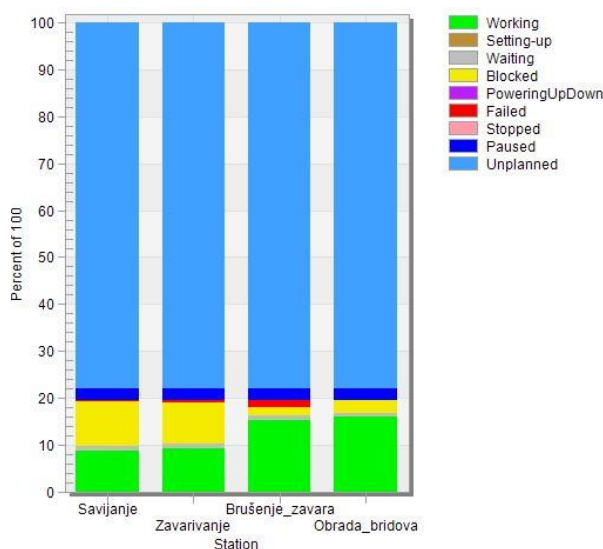
1) Liniji za izradu kućišta dodan je dodatni stroj

Kako bi se rasteretio stroj 81004 (operacija „*Brušenje_zavara*“) te kako bi se smanjila blokiranoost strojeva za savijanje i zavarivanje, u liniju je dodan novi stroj na kojem će se odrađivati operacija bušenja bočnih rupa i obrade bridova i rupa. Operacija je nazvana „*Obrada_bridova*“. Nova linija prikazana je na slici 64.



Slika 64. „Scenarij1“ modificirana linija za izradu kućišta

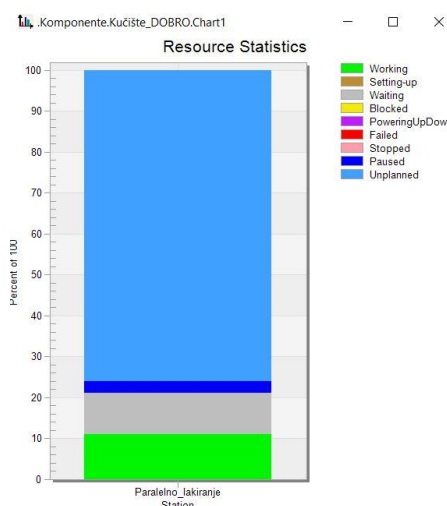
Ako usporedimo dijagram na slici 61. i dijagram na slici 65. vidljivo je da su strojevi za savijanje i zavarivanje nešto manje blokirani nego ranije, ali ono bitnije je da je radno vrijeme novog stroja vrlo veliko. Stoga se njegovo uvođenje isplatilo i samim time se malo rasteretila proizvodna linija.



Slika 65. „Scenarij1“ Zauzetost strojeva na modificiranoj liniji za izradu kućišta

2) Povećan je kapacitet lakirnice

Lakirnica se pokazala kao usko grlo. Stoga je uvedeno dodatno radno mjesto na lakiranju, odnosno omogućeno je lakiranje dva komada odjednom. Paralelnim procesom lakiranja dobilo se i vrijeme čekanja koje se može koristiti za lakiranje nekih drugih komada iz asortimana tvornice. Zauzetost lakirnice nakon povećanja kapaciteta prikazana je na slici 66.



Slika 66. „Scenarij1“ Zauzetost lakirnice sa povećanim kapacitetom

3) Uvedeno dodatno montažno radno mjesto

Uvedeno je dodatno radno mjesto kako bi se završna montaža ventilatora skratila što je više moguće. Sada postoje dva montažna mjesta.

• Rješenje i zaključak:

Ako se proizvodnja provede na način da se u obzir uzmu gore navedena poboljšanja serija će biti isporučena na vrijeme, odnosno može biti isporučena skoro dva dana ranije, a ta rezerva od dva dana nam može dobro doći u slučaju izvanrednog kvara nekog od strojeva. Slika 67. prikazuje isporučenu količinu ventilatora nakon uvođenja poboljšanja.

Simulation time: 25:00:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted									
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Isporuka	Paket_72_ventilatora	23:06:03:51.0000	1	0	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Slika 67. „Scenarij1“ Isporučena količina uz poboljšani način proizvodnje

6.2. Scenarij 2 – Zatvaranje cinčaone s kojom tvrtka trenutno surađuje

- **Scenarij:**

Stalni kupac želi sklopiti novi ugovor prema kojem bi se mu se u godini dana isporučivalo duplo više ventiltora VAAZ C1000 WF nego dosad, odnosno 816 ventiltora godišnje. Da bi bio siguran da će tvrtka to moći isporučivati kupac predlaže probnu isporuku od 408kom za pola godine. Istovremeno, pojavio se novi kupac koji zahtjeva 216 ventilatora istog tipa u roku od šest mjeseci. Otežavajuća okolnost je zatvaranje cinčaone koja je u mogućnosti isporučiti komade u roku od pet dana. U potrazi za drugim cinčaonama, uprava tvrtke našla je nove dvije cinčaone. Obje cinčaone imaju već ranije dogovorene poslove i mogu primiti maksimalno 48 kućišta u jednoj seriji. Vremena povratka komada s cičanja su ograničena, tako da cinčaona1 komade sa cinčanja vraća nakon 16 dana, a cinčaona2 nakon 12 dana.

- **Rezultati dobiveni iz postojećeg načina proizvodnje:**

Nakon zatvaranja cinčaone, tvrtka je morala pronaći nove kooperante. Oba kooperanta su imala puno nepovoljniji rok isporuke, ali druga opcija ne postoji. Tvrtka se mogla odlučiti i za suradnju sa samo jednim kooperantom, ali potrebno je da kućišta dođu što prije u tvrtku kako bi mogla na lakiranje, jer se na lakiranje i sušenje gubi najviše vremena u cijelom procesu izrade ventilatora.

U simulaciji slanje komada na dva različita kooperanta izvedeno je preko metode „Slanje_na_cinčanje“ koja je postavljena kao izlazna strategija izlaznog skladišta u liniji za izradu kućišta. Kod metode je prikazan na slici 68.

```

is
do
  if .Komponente.Kućište_DOBRO.Cinčaona1.occupied then
    @.move(Cinčaona2);
  else
    @.move(cinčaona1);
  end;
end;

```

Slika 68. „Scenarij2“ Kod metode „Slanje_na_cinčanje“

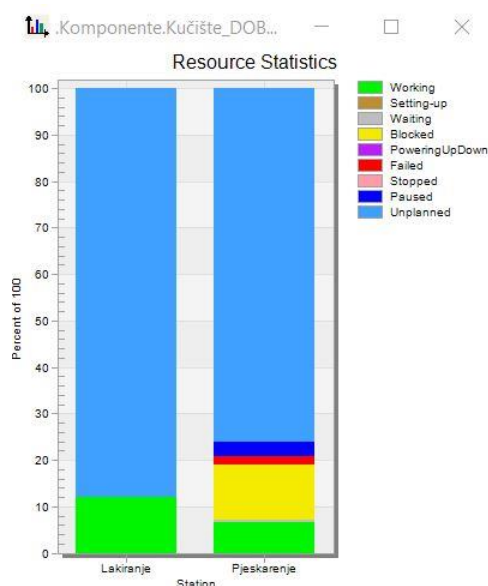
Modificirana proizvodna linija za izradu kućišta iz „*Scenarij1*“, prikazana na slici 64., korištena je i u simulaciji „*Scenarij2*“. Nakon postavljanja dvije nove usluge cinčanja, pokrenuta je simulacija i ukupan broj proizvedenih ventilatora, u periodu izrade od 182 dana, je 226 komada. Izlazni broj komada prikazan je na slici 69.

Simulation time: 182:00:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted								
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added
Isporuka	VENTILATOR	19:42:11.5000	226	0	100.00%	0.00%	0.00%	21.24%

Slika 69. „*Scenarij2*“ Izlazni broj komada prilikom puštanja simulacije postojeće proizvodnje

Provedena je analiza preko „*BottleneckAnalyzer*“ te je provedeno i nekoliko analiza zauzetosti strojeva, i problem je ponovo uočen kod lakirnice. Također, uočena je velika blokiranoost operacije pjeskarenja. Zauzetost lakirnice i pjeskarilice prikazana je na slici 70.



Slika 70. „*Scenarij2*“ Zauzetost lakirnice i pjeskarilice nemodificiranog proizvodnog procesa

S obzirom na takvo stanje zauzetosti lakirnice, logično je probati otvoriti dodatno radno mjesto na lakiranju.

Nakon postavljanja drugog radnog mjesta u lakirnici, te puštanja simulacije, dobiveni rezultati ponovo nisu zadovoljavajući. U pola godine uspije se izraditi tek 456 ventilatora. Izlazni broj komada prikazan je na slici 71.

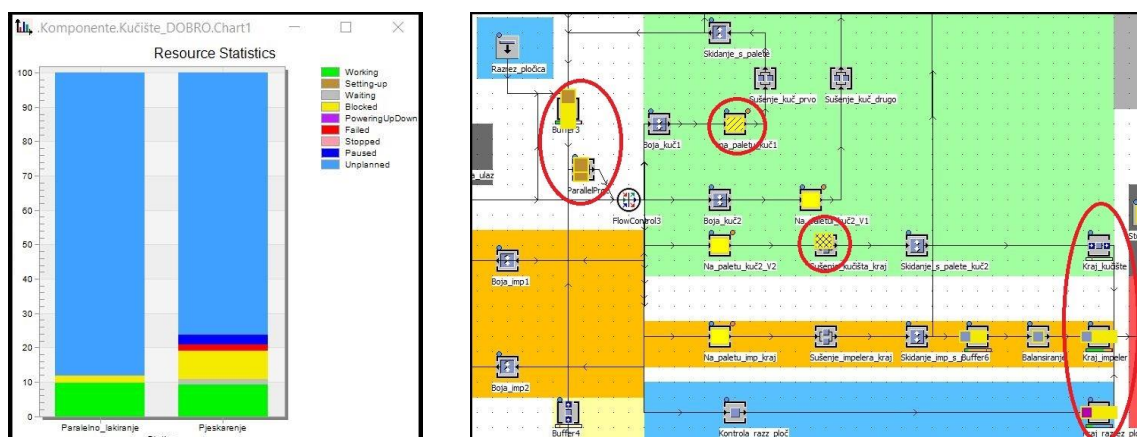
Simulation time: 182:00:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Isporka	VENTILATOR	10:18:37.3969	456	0	100.00%	0.00%	0.00%	20.49%

Slika 71. „Scenarij2“ Izlazni broj komada nakon uvođenja drugog radnog mjesta u lakirnici

Ako se promatra stanje zauzetosti strojeva nakon uvođenja dodatnog lakirnog mjesta vidljivo je da se situacija nije puno promijenila. I dalje je lakirnica prezauzeta. Stanje na kraju simulacije prikazano je na slici 72. U obzir treba uzeti da lakirnica i dalje radi na pola radnog vremena.



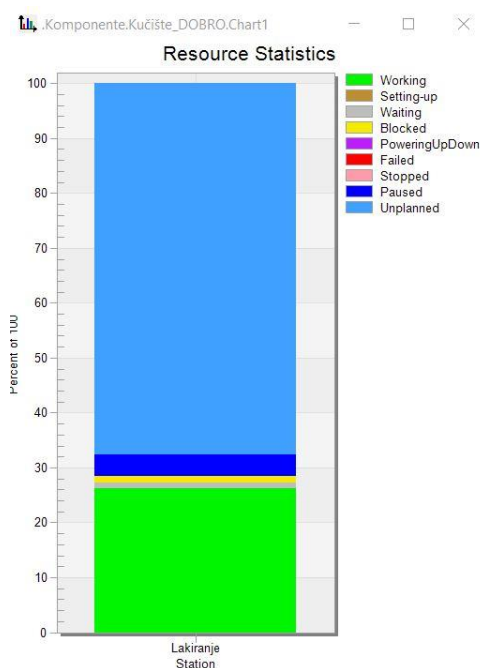
Slika 72. „Scenarij2“ Zauzetost stojeva i stanje procesa nakon uvođenja paralelnog lakiranja

Iz desnog dijela slike 72. vidljivo je da svi impeleri i razrezne pločice, na kraju simulacije, čekaju u međuskladištima na montažu. Problem stvaraju nelakirana kućišta, dio kućišta tek ide na prvi sloj lakiranja, dio stoji u „Buffer3“ i čeka drugi i treći sloj lakiranja. Jedna paleta, sa 24 komada ventilatora, u trenutku završetka simulacije još stoji na završnom sušenju. Iz svega gore navedenog, rješenje problema potrebno je tražiti u rješavanju problema uskog grla lakirnice.

- **Poboljšanje proizvodnje:**

Lakirnica nema kapacitet da se otvori i treće dodatno radno mjesto. Stoga je rješenje potrebno tražiti u prekovremenom radu. U skladu s time, odlučeno je ostaviti jedno radno mjesto u lakirnici, ali je uvedena popodnevna smjena. Dodatna smjena namještena je tako da traje u periodu od 14:00-22:00h, sa pauzom između 18:00-19:20. Pauza u trajanju od 80min obuhvaća zakonom propisanu pauzu u trajanju od 30min, jednu kraću pauzu za odmor od 15min, te 35min kojima su obuhvaćeni razni gubitci vremena u radu radnika(umor, dekoncentracija, manjak motivacije...), te se kroz to vrijeme obuhvatio pad efikasnosti radnika, do kojeg neminovno dolazi prilikom rada u drugoj smjeni.

Uvođenje dodatne radne smjene dovelo je do pozitivnih rezultata. Iz slike 73. vidi se da je lakiranje i dalje vrlo dobro iskorišteno, sa vrlo malom rezervom čekanja, a to je znak da je iskoristivost lakirnice na zadovoljavajućoj razini. Pojava vremena čekanja je znak da lakirnica više nije usko grlo. Važno je naglasiti da se komadi za izradu ventilatora VAAZ C1000 WF lakiraju i u jutarnjoj smjeni, ali je lakirnica za te komade sada dostupna manje nego ranije. Sada se ti komadi u jutarnjoj smjeni lakiraju svega 3 sata jer prema simulaciji i to će biti dosta za uspješnu isporuku. Tako se komadi, koji nisu sastavni dio ventilatora VAAZ C1000 WF, lakiraju 5h u jutarnjoj smjeni a to omogućuje nesmetanu proizvodnju ostalih proizvoda iz asortimana.



Slika 73. „Scenarij2“ Zauzetost strojeva nakon uvođenja dodatne radne smjene

- **Rješenje i zaključak:**

Rješenje ovog scenarija je pronađeno u uvođenju dodatne radne smjene. Nakon implementacije rješenja u softveru, i na temelju dobivenih rezultata simulacije, proizlazi da bi tvrtka u roku od 182 dana, mogla isporučiti dogovorene količine kupcima. Prikaz konačnog rješenja prikazan je na slici 74.

Simulation time: 182:00:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted								
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added
Isporuka	VENTILATOR	5:39:14.0769	624	0	100.00%	0.00%	0.00%	21.63%

Slika 74. „Scenarij2“ Isporučena količina nakon uvođenja dodatne radne smjene

Dodatno, 624 ventilatora bila bi uspješno isporučena i u slučaju da se tvrtka odlučila otvoriti dodatno radno mjesto u lakirnici. U tom slučaju, u jutarnjoj smjeni bi se dijelovi ventilatora VAAZ C1000 WF lakirali i dalje 3h, ali tada bi popodnevno radno vrijeme bilo kraće od 8h. Kako u okviru ovog završnog rada nije rađena ekonomska analiza i nisu poznate cijene radnog sata strojeva, kao ni cijene radnog sata radnika, odlučeno je da je gore navedeno rješenje sasvim prihvatljivo.

Ekonomska analiza bila bi od važnosti i prilikom proračuna troškova slanja kućišta na cinčanje. Postoji realna šansa da rad sa dvije cinčaone, koje su spremne cinčati svega 48 komada u seriji, nije ekonomski isplativ. U tom slučaju tvrtka bi, vrlo vjerojatno, morala odbiti jednu od dvije ponude dobivene u tekstu scenarija. Za potrebe ovog završnog rada pretpostaviti će se da bi takav način poslovanja sa cinčaonama tvrtki donio dobit te su iz toga razloga prihvaćena oba dva posla.

7. ZAKLJUČAK

Kako kroz povijest trgovine, pa tako i danas, povjerenje i zadovoljstvo kupca su indikatori uspješnog poslovanja tvrtke. Ono što kupca čini zadovoljnim, i što kod kupca ostavlja osjećaj povjerenja, je dobar i kvalitetan proizvod. Iako današnje kompanije u centar svog fokusa stavljaju kupca, proizvod je onaj faktor koji pokreće svaku tvrtku. Jednostavno, bez proizvoda nema kupca, bez kupca nema tvrtke. U skladu s takvim razmišljanjem potrebno je pratiti proizvod kroz njegov čitav životni vijek, omogućiti maksimalnu iskoristivost proizvoda, te kako nalažu principi društveno odgovornog ponašanja, pobrinuti se za njegovo zbrinjavanje na kraju životnog vijeka.

Kroz ovaj završni rad prikazan je jedan segment životnog vijeka proizvoda. Unutar softvera Tecnomatix Plant Simulation simulirana je proizvodnja ventilatora VAAZ C1000 WF, riješen je problem uskog grla te su dana moguća poboljšanja procesa. Uz simulaciju stvarnog stanja proizvodnje, simulirana su i dva realna scenarija. Za oba scenarija pronađeno je adekvatno rješenje, primjenjivo u praksi.

Kroz ovaj završni rad prikazane su sve prednosti PLM koncepta, objašnjen je rad u simulacijskom softveru te su uvidene i istaknute mogućnosti korištenih alata. Plant Simulation, ili slične softvere, slobodno se može istaknuti kao softvere sadašnjosti i budućnosti. Smatra se da će primjena simulacijskih softvera biti sve zastupljenija jer mogućnosti koje oni pružaju su od izrazitog značaja za proizvodnju. Iz tog razloga pokazalo se da je poznavanje simulacijskih softvera, kao i učenje projektiranja unutar njih od izrazite važnosti za svakog inženjera.

Ovaj rad moguće je zaključiti riječima velikog Nikole Tesle: „*Napredak i razvitak čovjeka od neizmjerne su važnosti za čovječanstvo i bitno ovise o invenciji.*“ . Unatoč svim mogućnostima koje razni softveri pružaju treba biti svjestan da je čovjek onaj koji je sposoban donijeti napredak, njegovo znanje i inteligentnost su ti koji stvaraju prevagu, a softveri su tu samo kao alati koji bi mu u tome trebali pomoć.

LITERATURA

- [1] John Stark: *Product Lifecycle Management, 21st Century Paradigm for Product Realisation, 2nd Edition, Springer, London, 2011.*
- [2] Ivan Vadla, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje 2009. godina, Zagreb
- [3] Tihomir Opetuk, Goran Đukić : *Interrelations of the green supply chain management wuth LCA, PLM, PLCM, LCM – literature survey, Management of Technology Step to Sustainable Production MOTSP 2013, Novi Vinodolski, Croatia.*
- [4] Štorga M.: *Predavanja iz kolegija „Informacijski modeli proizvoda“, FSB, 2007.*
- [5] Paolo Chiabert, Franco Lombardi, Javier Martinez Gomes, Joel Sauza Bedolla : *Visualization model for product lifecycle management, Management of Technology Step to Sustainable Production MOTSP 2012, Zadar, Croatia*
- [6] D. Dutta, J.P. Wolowicz (Eds.), *An Introduction to Product Lifecycle Management (PLM), ISPE, 2005*
- [7] F. Ameri, D. Dutta, *Product lifecycle management: closing the knowledge loops, Computer Aided Design & Applications 2 (5) (2005) 577–590*
- [8] Davor Pirović, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2011. godina, Zagreb
- [9] Valentina Gecevska, Teodora Stojanova, Bojan Jovanoski, Franc Cus : *Product Lifecycle Management Technology Solutions, Management of Technology Step to Sustainable Production MOTSP 2012, Zadar, Croatia*
- [10] www.plmtechnologyguide.com
(pristupljeno 06.02.2017.)
- [11] Mihael Gudlin, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [12] Ivan Rusan : *Pregled komercijalnih PDM / PLM sustava, seminarski rad iz kolegija Tehnički informacijski sustavi, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb*
- [13] Danijel Medved, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [14] <https://www.cadcam-group.eu>
(pristupljeno 07.02.2017. godine)
- [15] www.ptc.com
(pristupljeno 07.02.2017. godine)
- [16] L. Biluš, T. Dorotić, A. Margarin, Seminarski rad iz kolegija „Proizvodni menadžment“

- [17] [www.wikiwand.com/en/Siemens PLM Software](http://www.wikiwand.com/en/Siemens_PLM_Software)
(pristupljeno 08.02.2017. godine)
- [18] www.plm.automation.siemens.com
(pristupljeno 08.02.2017. godine)
- [19] www.koncar.hr
(pristupljeno 31.01.2017.godine)
- [20] Powerpoint prezentacija tvrtke „KONČAR-MES“
- [21] www.koncar-mes.hr
(pristupljeno 31.01.2017.godine)
- [22] Katalog aksijalnih ventilatora tvrtke KONČAR MES - „Axial fans for transformer cooling“
- [23] Tehnološki list tvrtke KONČAR MES za izradu proizvoda ventilator VAAZ C1000WF
- [24] Fotografije slikane osobno prilikom posjete KONČAR MES-u, dana 27.01.2017. godine
- [25] Zoran Kunica: Montaža I.dio , nastavni materijal, 2016.
- [26] Prof. dr. sc. Danko Basch, prof. dr. sc. Mario Žagar - ATLAS - simulacija arhitekture mikroračunala, nastavni materijal , FER, Zagreb